

APORTACIONS A LA MOTORITZACIÓ ELÈCTRICA HÍBRIDA DE L'EMBARCACIÓ LADY.

Treball Final de Màster

Màster en Gestió i Operació d'Instal·lacions Energètiques
Marítimes.



Facultat de Nàutica de Barcelona
Universitat Politècnica de Catalunya

Autor del TFM: Bernat Bolao i Cano

Director del TFM: Dr. Ricard Bosch Tous

Convocatòria: Maig 2018

RESUM

Aquest treball és un pas més en la consecució de varis projectes que s'han fet sobre la embarcació Lady. Pretenen que un dia navegui propulsat amb energia elèctrica i esdevingui un laboratori flotant.

El projecte present s'enfoca a la cadena energètica, és a dir, des de la font d'energia fins a l'hèlix, incloent-hi el control del sistema.

Per tal d'instal·lar la cadena energètica a Lady, varada a l' Institut de Nàutica de Barcelona (INB), es fan proves d'alguns dels seus components: els propulsors elèctrics i el controlador per contactors i variador de freqüència.

En funció dels resultats de la nova cadena energètica es proposaran els passos que caldrà seguir en futurs projectes.

Índex

1.	Pròleg	1
1.1.	Motivació.....	1
1.2.	Objecte	2
1.3.	Objectiu.....	3
1.4.	Abast.....	4
2.	Introducció	5
2.1.	Navegació híbrida	5
2.2.	Exemple real de propulsió elèctrica: ECO SLIM.....	7
2.3.	Diferències entre kW i kVA.....	7
2.4.	Antecedents	9
2.4.1.	Resums de projectes predecessors (Llanxa RAS)	9
2.4.2.	Resums de projectes predecessors de Lady	14
2.4.3.	Altres projectes realitzats a Lady	23
3.	Evolució de la cadena energètica	24
3.1.	Resum del primer disseny	24
3.2.	Proporció generador – alternador.....	26
3.3.	Justificació del nou disseny	26
4.	Nou disseny de la cadena energètica	28
4.1.	Generador HYUNDAI DHY6000SE-3 de 6,2kVA	28
4.1.1.	Característiques del generador.....	28
4.2.	Propulsors elèctrics.....	29
4.2.1.	Característiques	30
4.2.2.	Components	31
4.2.3.	Dimensions exteriors	32
4.2.4.	Potències.....	32
4.2.5.	Hèlix	33
4.2.6.	Estructura de subjecció dels propulsors.....	35
5.	Proves realitzades al RCMB	36
5.1.	Primer assaig al Reial Club Marítim de Barcelona.....	37
5.1.1.	Planificació del primer assaig	37
5.1.2.	Proves del primer assaig	38
5.1.3.	Conclusions del primer assaig	40

5.2.	Segon assaig al Reial Club Marítim de Barcelona.....	41
5.2.1.	Planificació del segon assaig.....	41
5.2.2.	Proves del segon assaig.....	41
5.2.3.	Conclusions del segon assaig	42
5.3.	Tercer assaig al Reial Club Marítim de Barcelona.....	43
5.3.1.	Planificació del tercer assaig	43
5.3.2.	Calibratge de la rodeta de mesura.....	44
5.3.3.	Disseny del difusor	46
5.3.4.	Proves del tercer assaig	50
5.3.5.	Conclusions del tercer assaig	53
5.4.	Conclusions generals dels assaigs realitzats al RCMB.	54
6.	Control de pilotatge.....	56
6.1.	Característiques del controlador.....	57
6.2.	Proves a INB del controlador	60
7.	Obres a Lady	65
7.1.	Distribució de pesos.....	67
8.	Conclusions	68
8.1.	Nova cadena energètica	68
8.2.	Propulsors.....	69
8.3.	Control	70
9.	Projectes futurs per a la Lady.....	71
9.1.	Estabilització dinàmica de la Lady.....	71
9.2.	Disseny i instal·lació de panells solars.	73
9.3.	Sistema de bombolles per a la disminució del fregament.....	74
10.	Bibliografia	75
10.1.	Referències PFC.....	75
10.2.	Referències llibres.....	76
10.3.	Referències pàgines web	77

1. Pròleg

1.1. Motivació

Un cop acabats els estudis de grau en enginyeria mecànica volia ampliar els meus coneixements en camps que no havia tocat. És per això que vaig decidir fer el màster en gestió i operació d'instal·lacions energètiques marines. En aquest màster he pogut profunditzar més en sistemes per obtenir energia mecànica i elèctrica aprofitant de la manera més eficient possible els recursos actualment usats.

Aquest projecte vol ser la culminació d'aquest coneixements aprofundint en la part elèctrica, més desconeguda per a mi, però a l'hora la que tinc més interès d'aprendre. Cada vegada veiem més vehicles híbrids o elèctrics i el món marí no es pot quedar enrere ja que és el mitjà de transport comercial més usat del món i és altament contaminant. Per tant, invertir recursos en l'assaig de la propulsió elèctrica penso que és també d'un gran interès general.

El fet que sigui un projecte real on hi participen varies organitzacions i existeix una cadena de projectes amb un objectiu comú final, fa que sigui, a opinió personal, més engrescador.

1.2. Objecte

Lady:

És propietat de la Asociación de Patronos de Yate (A.P.Y.) i juntament amb el Consorci El Far (C.E.F.) i la UPC es vol recuperar la embarcació i convertir-la en un laboratori flotant per a fer-hi proves de propulsió elèctrica. Així consta en un acord de col·laboració signat per les tres parts l'any 2011.

L'embarcació es troba actualment a la drassana del Institut de Nàutica de Barcelona (I.N.B.) des de 2011.

L'any 2017 INB recull les instal·lacions i activitats de l'antic Consorci el Far. Aquest institut va nàixer d'un conveni del Consorci El Far amb el Consorci d'Educació de Barcelona i el Departament d'Ensenyament de la Generalitat.

A l'INB és on s'hi fan les reparacions i tasques d'acabat. Per part de la UPC s'ha aportat coneixements a partir de nombrosos projectes finals de carrera i màster dirigits pel Dr. Ricard Bosch del Departament d'Enginyeria Elèctrica de l'ETSEIB des de on també s'ha aportat material per a la cadena energètica de Lady.

L'any 2002 Lady va tenir un incendi i es va enfonsar parcialment per tal de apagar-lo. Posteriorment es va treure de l'aigua i va restar varada a Marina d'Horta.

Característiques principals de Lady:

Construcció	1976 (Drassanes Sea Ray)
Eslora	6,58 m
Mànega	2,44 m
Puntal	1,20 m
Desplaçament	1.633 kg
Càrrega màxima	600 kg
Pes*	1.123 kg

Taula 01. Característiques principals Lady

Font: Mercè Barba. Ref.PFC.05

* El pes de 1.123kg és el resultat dels 1.835kg que pesava la embarcació al portar-la a la drassana del INB menys 712kg de material en mal estat que se li va treure deixant només la estructura incloent-hi el sostre.

L'estudiant Mercè Barba (Ref.PFC.05) es va posar en contacte amb "Drassanes Sea Ray" per tal d'obtenir les dades originals però des de les drassanes van respondre que ja no les tenien.

1.3. Objectiu

L'objectiu bàsic és reprendre els projectes anteriors sobre Lady, extreure'n tota la informació que resulti útil per aquest projecte i culminar amb la instal·lació real de la nova cadena energètica tenint en compte els pesos i criteris de seguretat.

Caldrà posar objectius en comú amb INB per tal de veure realitzats els avanços dissenyats. L'organització i coordinació de les diferents entitats serà un dels punts claus del projecte.

L'objectiu genèric de la cadena de projectes és que un dia arribi a poder navegar i s'hi puguin realitzar noves proves a bord de propulsió elèctrica.

1.4. Abast

L'abast en aquest projecte serà la instal·lació real de la cadena energètica amb totes les proves que calgui fer per tal que aquesta pugui funcionar de forma estable i permeti, en un futur, un bon govern de la embarcació.

Queda per futurs projectes la documentació necessària per legalitzar Lady i la instal·lació de sistemes auxiliars.

Un cop col·locada la cadena, també permetrà a projectes futurs, estudis d'optimització de la energia. La instal·lació de la cadena es fa de tal forma que permet una gran possibilitat de intercanviabilitat. Això permetrà afegir en un futur nous elements a la cadena o provar-ne d'altres.

Es realitzaran proves a INB del control de Lady i al RCMB dels propulsors.

2. Introducció

2.1. Navegació híbrida

Cal conèixer perquè ens interessa dissenyar un sistema de propulsió elèctrica per a una embarcació. Lo ideal des d'un punt de vista d'emissions directes seria alimentar els motors amb bateries o altres fonts no contaminants. Tot i així les dimensions reduïdes de Lady fa que sigui difícil posar prou bateries per gaudir de suficient autonomia. De la mateixa manera tampoc tenim prou superfície per tal d'alimentar les bateries a través, per exemple, d'energia solar.

D'aquesta manera s'obre la porta a sistemes híbrids de motor tèrmic, alternador i propulsió elèctrica.

Els motors tèrmics estan dissenyats de tal manera que tenen un punt òptim de funcionament que correspon al de màxim rendiment. Aquest punt correspon a una velocitat de rotació concreta. Per tant a primera vista veiem que si es treballés a aquesta determinada velocitat constantment, aconseguiríem les màximes prestacions del motor i un consum òptim del combustible.

Un propulsor connectat mecànicament a un motor tèrmic no pot girar a revolucions constants, ja que volem tenir control de la velocitat de l'embarcació. És aquí on veiem el primer avantatge de la propulsió elèctrica híbrida. El motor tèrmic a revolucions constants pot estar connectat mecànicament a un alternador, i aquest fa que generi electricitat alimentant així els propulsors elèctrics.

Com hem vist, aquest disseny ens permet, a priori, reduir el consum de combustible. El fet de poder fer treballar el tèrmic en el punt òptim també ens permet instal·lar motors de dimensions més reduïdes ja que no fa falta que estiguin sobre dimensionats per cobrir els pics de demanda com poden ser les arrancades i les acceleracions. Aquests pics solen durar pocs segons i es poden superar amb la pròpia inèrcia del rotor de l'alternador.

Aquests pics de intensitat, seguiran apareixent i s'ha de dimensionar l'alternador per tal de que pugui cobrir-los. També es pot afegir altres sistemes que aportin energia en aquests transitoris com poden ser els acumuladors cinètics.

Un altre avantatge que ens dóna els propulsors elèctrics és la localització i les transmissions dels elements mecànics. El fet de que no hi ha una transmissió mecànica entre l'hèlix i el motor ens permet col·locar aquest on més ens convingui; és més, podem tenir varis motors tèrmics per poder distribuir millor els pesos i guanyar fiabilitat del sistema.

Per altre banda podem eliminar la botzina ja que els propulsors poden ser fora borda i l'energia arriba per cable. La botzina del vaixell és un punt clau ja que perdem rendiment pel fregament de l'eix de l'hèlix i requereix de lubricació i manteniment. També eliminem la possibilitat de que entri aigua dins l'embarcació per aquest punt.

Altres avantatges que tenim, i no menys importants, són un millor control del parell i velocitat entregades a l'hèlix. D'aquesta manera també podem optimitzar la navegació i en definitiva el consum. El fet de que es pugui controlar el sentit de gir de les pales elèctricament també millora significativament la maniobrabilitat de la

embarcació en cas de invertir la marxa ja que el motor tèrmic gira sempre en el mateix sentit i en aquest cas no caldria parar-lo per fer la maniobra.

Els motors elèctrics admeten sobrecàrregues periòdiques de varis segons al doble o triple de la seva intensitat nominal, sempre que entre els pics es permeti la seva correcta refrigeració. Aquesta característica es un punt a favor ja que poden generar més potència de la nominal en cas de necessitat.

2.2. Exemple real de propulsió elèctrica: ECO SLIM

ECO SLIM és un catamarà propulsat elèctricament que realitza *tours* turístics pel port vell i el litoral de Barcelona. Dissenyat per minimitzar la resistència a l'avanç s'han pogut instal·lar uns propulsors elèctrics d'una potència menor a l'habitual en una embarcació d'aquestes dimensions (24 m d'eslora amb capacitat per a 150 persones). Aquest catamarà compte amb panells solars, turbines eòliques, piles d'hidrogen i generadors tèrmics, reduint així el consum de combustible i sent molt més respectuós amb el medi ambient. Els propulsors instal·lats a Drassanes Dalmau amb el suport de la UPC són alimentats a cada surador per un motor de 30kW i pot ser alimentat a través de les bateries o a través d'un generador de 55kVA (400V).

2.3. Diferències entre kW i kVA

Com que en els sistemes híbrids s'han de acoblar varies maquinàries que generen potències de diferent naturalesa

(mecànica i elèctrica) es fa aquesta petita descripció de conceptes bàsics.

En els aparells de corrent altern apareixen tres mesures diferents de potència que representades en fasors formen un triangle rectangle. La potència mesurada en wats (W) és la anomenada potència activa. La potència aparent es mesura en volts ampere (VA) i la potència reactiva en volt ampers reactius (Var). Els seus valors difereixen segons el factor de potencia (ϕ) que a l'hora és l'angle del triangle definit pels tres fasors.

La aparent és tota la potència que consumeix un aparell, però no tota aquesta es convertirà en potència útil. Una gran part sí que ens donarà treball o es dissiparà en forma de calor. Aquesta serà la potència activa (W). Per això també se la denomina potència real. En canvi, una part més petita serà per generar els camps elèctrics o magnètics en els components del aparell. Aquest són els volt ampere reactius (VAR).

El factor de potencia (F.P. o $\cos \phi$) ens dóna informació de quanta de la potència aparent es transformà en potència útil.

$$\text{F.P.} = W / \text{VA.}$$

Els aparells amb factors de potència més alts es diuen equips resistius i aquest solen ser des de estufes elèctriques fins a bombetes incandescentes. Els aparells que tenen un factor de potència més baix són motors, transformadors o aparells amb electrònica i se'ls denomina aparells inductius.

2.4. Antecedents

Ha estat de gran ajuda llegir projectes similars d'altres alumnes que tractessin de sistemes híbrids amb propulsió elèctrica. La primera part del meu projecte ha estat recollir informació de treballs del camp de la propulsió elèctrica.

En aquesta primera part hi ha resumit alguns d'aquest projectes, relacionats directament amb Lady o relacionats amb els propulsors que s'aprofitaran.

Tanmateix existeixen una gran quantitat de treballs sobre la propulsió híbrida / elèctrica. On destaco el disseny d'una llanxa anomenada SOLIPORT realitzat per l'estudiant Rossend Àvila amb el nom de:

“Remodelación de una embarcación de 4 m. d'eslora para el diseño, instalación y estudio de un sistema de propulsión eléctrica” i “Estudio y realización de un motor eléctrico de rotor mojado, para aplicaciones de propulsión”.

La llanxa tenia un grup electrogen amb motor de combustió de 13CV i una potència de 4kVA a 230V.

2.4.1. Resums de projectes predecessors (Llanxa RAS)

Especial atenció mereix la llanxa Ras. D'aquí s'ha recuperat material com per exemple els motors propulsors i el comandament de control amb resultats de diferents proves que se li han fet.

La Ras és un catamarà monoplaça dissenyat amb l'objectiu d'estudiar la propulsió elèctrica. El projecte va començar amb

l'estudiant de la FNB Gabriel Riera l'any 2006 i ha estat objecte de diversos projectes mes.

A continuació es fa un petit resum de diferents treballs relacionats, amb els aspectes més rellevants per aquest projecte.

- *“Acabados, optimización, ajuste y documentación de un catamarán de propulsión eléctrica de 3,4 metros de eslora.”*
De Albert Peregrina. (2009)

S'agafa el relleu del projecte “Diseño y construcción del sistema de propulsión eléctrica de un catamarán de 3,4 metros de eslora” fet pel mateix autor al 2007. Parteix d'un catamarà amb un motor foraborda de 45CV (aprox.33,5kW).

S'instal·la un sistema híbrid en sèrie que consisteix en un grup electrogen que alimenta dos propulsors elèctrics.

El grup electrogen estava format per un motor de gasolina i un alternador. El motor tèrmic és un HONDA GX270 de 6,6kW de potència màxima i l'alternador era de la marca TEKEL TT8.5 d'una potència màxima de 8,5kVA a 400Vac.

Amb aquesta font d'energia s'alimenten els propulsors elèctrics asíncrons trifàsics els quals recuperem per Lady en aquest projecte. Tenen una hèlix tripala de bronze acoblada directament al seu eix.

El govern de la embarcació es fa a través de la diferència d'empenta que se li pot aplicar a cada propulsor (propulsió diferencial). El control es pot fer per dos vies; per contactors o per variador de freqüència. Aquest sistema de control també es recupera pel projecte actual.

- “*Llanxa Ras: millores i anàlisi de la propulsió*”. De Miquel J. Vidal Parreu. (2008)

En aquest projecte es realitzen varies proves amb els propulsors i se'n prenen i analitzen les dades. A través d'un oscil·loscopi es veuen les respostes elèctriques de tensió i intensitat als propulsors i s'analitza el comportament d'arrencada dels motors en diferents condicions.

Les proves es realitzen amb dos grups electrògens diferents. Un amb motor tèrmic de 13CV i 6,5kVA d'alternador i l'altre de 9CV i 8,5kVA respectivament. Les proves es realitzen en uns tancs d'aigua i també s'analitza el comportament del grup amb acumuladors cinètics i compensadors síncrons.

Les proves realitzades amb acumulador cinètic es veu com la caiguda de tensió al arrancar els propulsors és menor que si no en portés. Es conclou que l'ús d'un acumulador és satisfactori en els transitoris però recomana desconnectar-los si no es preveu cap transitori a curt termini. Aquest fet complica la maniobrabilitat del sistema.

En les arrancades amb variador de freqüència conclou que hi ha una arrancada més suau evitant grans pics d'intensitats i grans caigudes de tensió en comparació a la arrancada per contactors. Per contra la electrònica dels variadors deforma la senyal sinusoïdal afectant negativament el rendiment del grup electrogen.

Recomana l'arrencada amb variador de freqüència i posteriorment controlar els propulsors amb contactors si es volen velocitats constants en períodes llargs de temps.

La comparació que fa entre grups electrògens observa que el grup de 13CV (9,7kW) i 6,5kVA té un mal comportament. Això és degut a la poca potència de l'alternador que no pot respondre bé a les arrancades dels motors.

El grup de 9CV (6,7kW) i 8,5kVA d'alternador, en canvi, ha donat millors prestacions, doncs la proporció potència motor tèrmic / potència alternador, és més generosa per l'alternador.

- *“Cap al vaixell híbrid de propulsió elèctrica. Avaluació experimental de la cadena energètica instal·lada a la barca RAS.”* De Carles Bou. (2010)

En aquest projecte es realitzen més proves experimentals sobre la Ras en diferents espais.

S'obtenen diferents mesures del consum depenent de la profunditat del propulsor. Es defensa que amb compensador síncron s'obté major rigidesa del sistema.

S'entén que un sistema elèctric és més rígid quan més petita sigui la variació de la freqüència a causa d'una variació de la càrrega. La funcionalitat d'un compensador síncron és absorbir o entregar potència reactiva i potència instantània.

En general el compensador actua com un motor i se li pot acoblar una massa rodant que acumula energia cinètica. En aquest cas quan els propulsors demanin més intensitat degut, per exemple, a la

seva arrancada, el compensador actua com a generador consumint aquesta energia cinètica acumulada. Així doncs el compensador dona un impuls addicional als propulsors en moments clau com pot ser la arrancada del motor o altres transitoris.

Es proven els variadors de freqüència. Es conclou que es necessita més potència al alternador que l'actual per tal d'absorbir els harmònics que provoca .

- *“Caracterización hidrodinámica de propulsores eléctricos sumergidos en un tanque de tres metros de diámetro”* De Pedro Mas. (2010)

Pel que fa als propulsors, es fa la caracterització en un fluid amb velocitat prèvia a una piscina de tres metres de diàmetre i 0,7m de profunditat. També es mesura l'empenta del propulsor amb un dinamòmetre.

S'observa una empenta de 18kg amb un consum del motor de 2kW i una velocitat lineal del fluid de aproximadament 2m/s (4 nusos). L'experiment es queda a 1760 rpm ja que les dimensions de la piscina no permet provar a més velocitat sense desbordar. Posteriorment es realitza la mateixa prova amb una velocitat lineal del fluid prèvia. Els resultats obtinguts son una clara disminució del consum elèctric del propulsor quan aquest actua sobre un fluid amb una velocitat lineal prèvia.

2.4.2. Resums de projectes predecessors de Lady

- *“Projecte de legalització d’un laboratori surant de 6,5 m d’eslora per l’experimentació de propulsió naval elèctrica”.*
De Mercè Barba. (FNB, 2013)

Aquest projecte, paral·lelament amb el projecte descrit posteriorment de Mario Sancho, són els primers que es realitzen sobre Lady. Ambdós projectes descriuen les reformes realitzades a la embarcació, el disseny de la nova cadena energètica, la distribució de pesos, serveis auxiliars i la descripció de tràmits oficials per tal de legalitzar-la.

Els primers passos es fan a l’INB (CEF) amb el sanejament de la Lady retirant tots els elements de coberta i procedint a la reconstrucció de la fusta i la fibra que estava en mal estat. Es reforça el mirall de popa per tal de poder-hi instal·lar els propulsors, es revisen les reserves de flotabilitat de espuma laterals i centrals i es canvien els que es troben en mal estat. Es pinta de nou. En aquest moment es dibuixen els primers plànols de la embarcació.

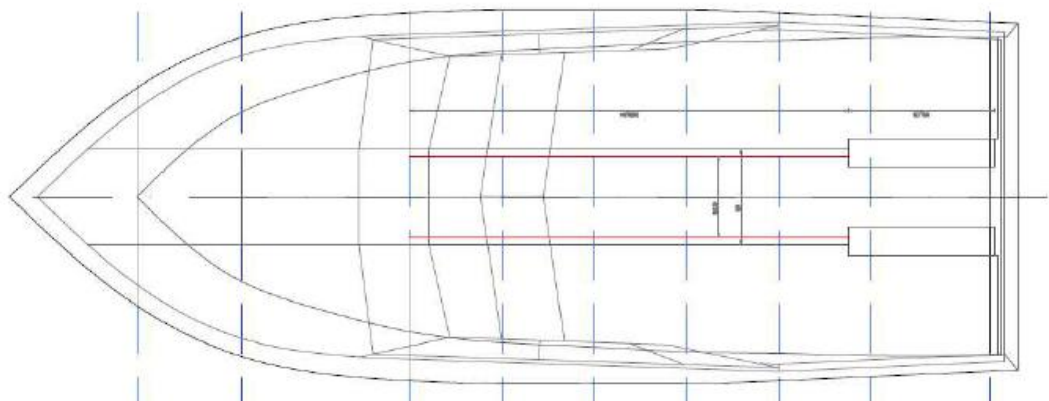


Figura 01. Vista en planta de la Lady.

Font: Mercè Barba. Ref.PFC.05

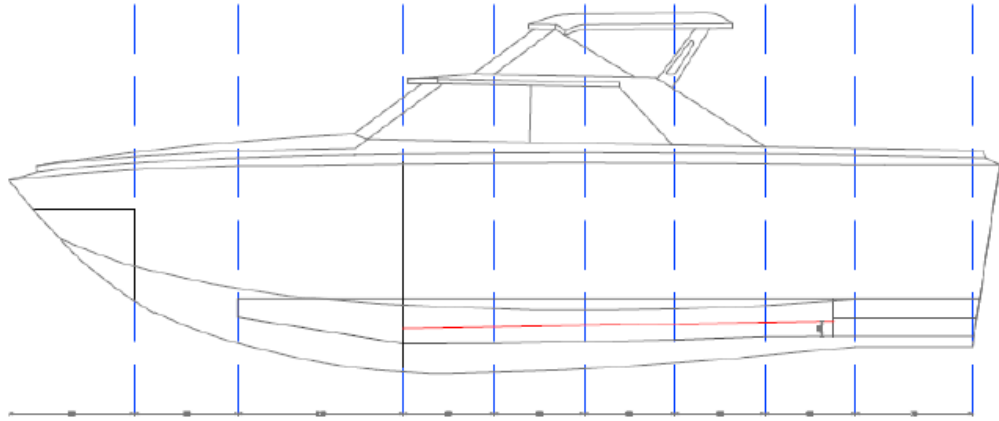


Figura 02. Vista lateral de la Lady.

Font: Mercè Barba. Ref.PFC.05

Es dissenya una bancada de tal manera que sigui possible i fàcil canviar la maquinaria per a poder fer proves amb diferents motors en un futur. La idea és col·locar-la en el llarg de l'esglaó central i consisteix en dos bases de fusta que es fixaran a la embarcació i suportaran el pes de la maquinaria.

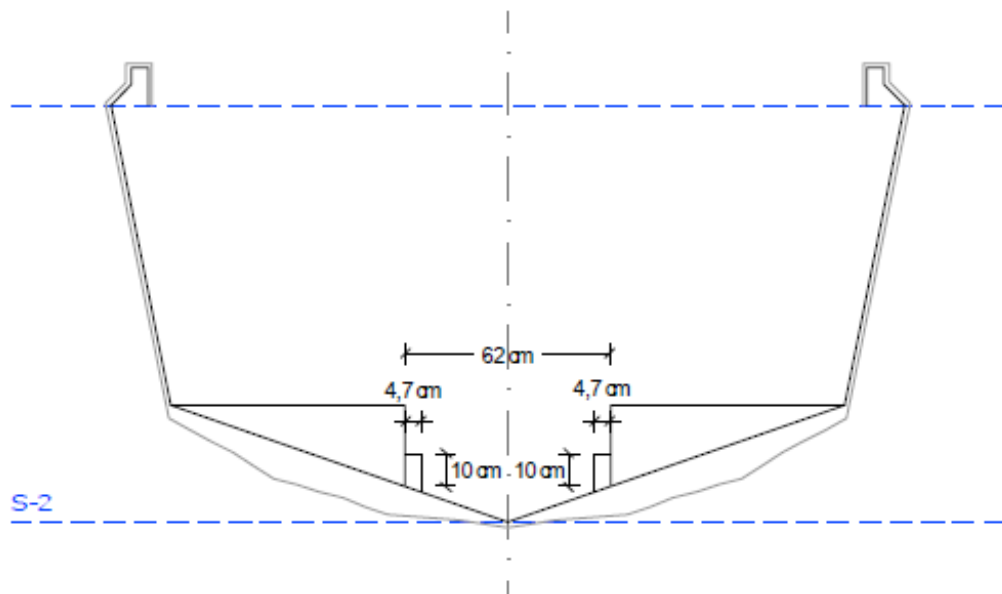


Figura 03. Vista secció de la Lady. Detall de la bancada.

Font: Mercè Barba. Ref.PFC.05

Pel que fa al motor original de la Lady es troba en tal estat que impedeix llegir-ne les característiques concretes. En el projecte de la Mercè Barba es fa una investigació i es creu que podria ser un mercruiser de 140 kW.

El primer disseny de la cadena energètica estava compostat per un motor tèrmic acoblat a un generador de corrent contínua. L'electricitat alimentava un motor de corrent continu acoblat al propulsor, en aquest cas una hèlix de transmissió en Z.

Es prova al laboratori un motor de corrent continu per tal d'analitzar el comportament sense controladors electrònics.

El model provat és inestable a causa d'un excessiu magnetisme remanent de la dinamo. Per tal de solucionar aquest problema s'instal·la un alternador de 5,5kVA que dóna les corrents d'excitació a les dos màquines de corrent contínua.

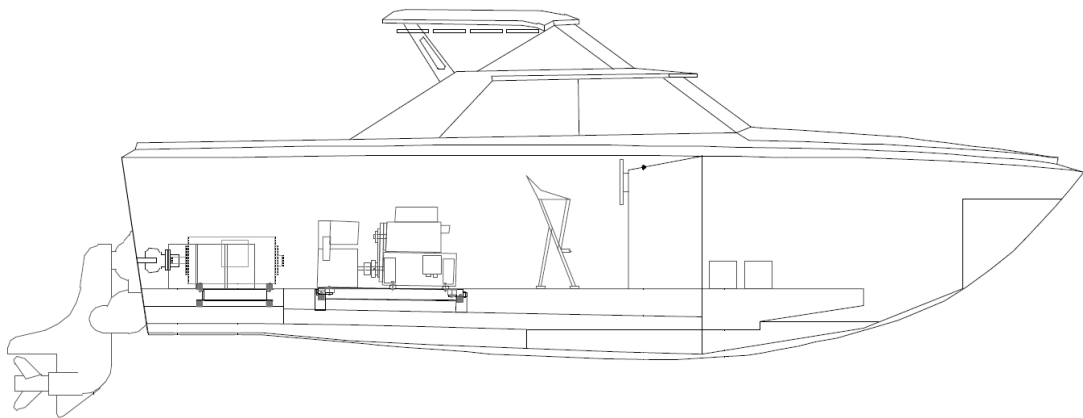


Figura 04. Vista de la distribució de la primera cadena energètica de Lady. Font: Mercè Barba. Ref.PFC.05

A continuació és descriuen les característiques dels diferents elements de la cadena energètica.

Motor tèrmic HONDA GX390

Potència neta	8,7kW (13CV) a 3600 rpm
Potència neta	7,5kW (10 CV) a 3000 rpm
Parell motor màx	26,5 Nm a 2500 rpm

Taula 02. Característiques motors Honda.

Font: Mercè Barba. Ref.PFC.05

Dinamo NOVAT TPV112L

Velocitat de gir	1460 rpm
Tensió induïda	180 V
Corrent induïda	27,5 A
Tensió excitació	195 V
Corrent excitació	1,85 A
Potència neta	4,5 kW

Taula 03. Característiques dinamo NOVAT

Font: Mercè Barba. Ref.PFC.05

S'elegeix aquesta màquina ja que és la més lleugera entre les altres candidates. Com que el generador síncron va a 3000 rpm, la dinamo havia de girar també a aquesta velocitat treballant forçadament. D'aquesta manera també s'obtenia més potència arribant a 9kW. Treballar amb aquestes condicions suposa tenir un límit de temps de funcionament i una vida de la màquina més curta.

Motor corrent continua. ABB DMP 160-4S

Velocitat de gir	925 rpm
Tensió induïda	440 V
Corrent induïda	50 A
Tensió excitació	220 V
Corrent excitació	4,7 A
Potència neta	17,9 kW

Taula 04. Característiques motor c.c.

Font: Mercè Barba. Ref.PFC.05

Comparat amb el motor tèrmic de Lady antic amb la Z-drive, les condicions són molt diferents. Contant que el propulsor (z-drive) té una reductora 3:2, abans treballava a 2650 rpm i 330 Nm. Amb el sistema híbrid nou tindríem 616 rpm amb 185 Nm. Tot i així, la intensió de la Lady és transforma-la en un laboratori surant. Aconseguir una propulsió molt potent no és el nostre objectiu.

Excitatriu. Generador síncron LINZ ELECTRIC E1S10M G

Potència de sortida	5,5 kVA
Velocitat de gir	3000 rpm
Freqüència	50 Hz
Tensió	230/400 V
Intensitat	13,8 / 7,9 A

Taula 05. Característiques alternador

Font: Mercè Barba. Ref.PFC.05

La funcionalitat de la excitatriu és per una banda donar els corrents d'excitació de les màquines de corrent continu i, per l'altre, alimentar els sistemes auxiliars de la embarcació.

Propulsió (Z-Drive):

El Z-Drive és un tipus de propulsió on el motor és troba dins la embarcació mentre l'hèlix i la seva transmissió es troben forabord i es connecten a través del mirall de popa. L'hèlix és orientable tan verticalment com horitzontalment lo que permet el govern de la embarcació sense necessitar timó i amb la avantatge de que el motor resta fixat.

En un principi es volia recuperar aquest element original de la embarcació que estava en molt mal estat i s'hi van fer treballs de neteja, sanejament i revisió dels seus elements. Però es descarta ja que està dissenyat per velocitats molts superiors a les que volem arribar amb la nova cadena. També sobresurt massa del pantoc i fa la embarcació poc manejable.

Pel que fa al control de la cadena es decideix deixar fix el corrent d'excitació del motor de continua i controlar el corrent d'excitació del generador de continua amb un autotransformador.

En el mateix projecte també es proposa, però no es realitza, la instal·lació elèctrica auxiliar alimentada per bateries a 12 V. Per carregar les bateries es preveia tres maneres. Una amb plaques solars aprofitades del cotxe solar Despertaferro. L'altre sistema podria ser un petit generador independent i finalment el propi alternador de la cadena energètica.

Finalment el projecte de la Mercè Barba realitza l'estudi de la legalització de la Lady en forma de propostes i punts clau a tenir en compte. Es fa un breu descripció de la documentació que ha de estar vigent.

En aquests apartats també es defineix l'estat legal actual de la Lady i s'indica els procediments en varies opcions per tal de que arribi a navegar.

- *“Disseny, construcció i assaig d'un laboratori surant, sobre una embarcació de 6,5 m d'eslora. Per experimentació en propulsió naval elèctrica”*. De Mario Sancho. (2011)

El projecte d'en Mario Sancho comença paral·lelament amb el de la Mercè Barba però se centra bàsicament a la cadena energètica.

Cal tenir en compte el pes de la maquinaria. Després del sanejament i la retirada de tots els elements es mesura el pes extret a Lady i resulta de 712kg. Per tant tots els nous elements que es col·loquin haurien d'estar al voltant d'aquest pes aproximadament. La cadena dissenyada en aquest projecte s'havia d'instal·lar a la cruïxa de la embarcació per garantir la seva estabilitat. Els elements de la nova cadena energètica de la Lady es van escollir, en gran part, pel criteri del seu pes. Tots els elements definits al resum del projecte de la Mercè Barba sumen un total de 327kg incloent-hi la bancada de fusta que s'instal·la a la Lady en el transcurs dels dos projectes.

Es realitzen els primers assajos de la cadena energètica al laboratori de l'ETSEIB. Es fan proves en buit i amb l'eix frenat per

mesurar revolucions i parell respectivament amb una tensió i corrent al circuit d'excitació fixa i independent.

Es destaca que el generador treballa al doble de revolucions que les nominals. Això farà que augmenti la tensió a l'induït fins a 400V aproximadament, sent la de disseny de 180V. Es considera que tenir el doble de tensió farà que la vida útil de l'aparell sigui més curta i que només pugui treballar de forma continua, però serà estable durant la prova.

No es poden realitzar més proves del conjunt a causa de falta de subministraments i problemes de vibracions en la bancada del motor tèrmic. Finalment no s'instal·la cap maquinaria a bord a falta de millorar el seu disseny.

- *“Disseny i assaig d'un controlador de tensió per un grup electrogen híbrid, per alimentar un propulsor naval elèctric de 18kW en condicions d'acceleracions forçades”.* De Sergi Barberan.

Al projecte del Sergi es pretén veure el comportament de la cadena energètica amb una forta acceleració i demostra l'arrencada del motor de 18 kW en 60ms, tenint 13CV de tèrmic (8,7kW) aprofitant la inèrcia de les màquines rotatives. Aquesta arrancada és possible amb la dinamo NOVAT donant 9kW (4,5kW nominal) ja que treballa a 3000rpm (1460rpm nominals).

Es vol veure com actuen les inèrcies de les masses giratòries de l'alternador i la dinamo. Això passa en períodes molt breus de temps (60ms), en el qual el motor tèrmic no té temps de reacció.

A partir d'aquí l'objectiu del projecte es dissenyar el control de la velocitat que tindria Lady amb aquesta cadena energètica. Pel control, es regula la intensitat d'excitació de la dinamo i es deixa fixa la del motor de continua.

Tots els elements de la cadena son aprofitats d'altres projectes o de maquinària en desús. D'aquí que les prestacions no siguin les òptimes.

Durant les fortes accelerades la intensitat que passa pel rotor és molt elevada ja que no hi ha prou força contraelectromotriu i l'únic impediment del pas de corrent és la pròpia resistència i inductància del rotor. Durant aquest període la tensió de sortida i la freqüència es veuen afectades fins que no torna al règim permanent. Tenint suficient energia per aquestes acceleracions, amb masses giratòries per exemple, es podria minimitzar aquests efectes.

En les proves realitzades es veu la caiguda de la tensió a la dinamo al connectar una càrrega. L'amplitud de les oscil·lacions vistes als assaigs son superiors al 50% de la tensió inicial i tarda uns 50 segons en estabilitzar-se. Es recomana que aquestes no passin del 4% si hi ha càrregues que estan connectades a la mateixa font. Per tant resulta imperatiu dissenyar un sistema que afegeixi energia en aquests transitoris per evitar caigudes de tensió tan grans.

El motor de 18 kW queda descartat quan es decideix prescindir de la Z-drive. Les raons són el seu pes i dimensions i una potència massa alta pels experiments que es volen fer.

2.4.3. Altres projectes realitzats a Lady

- “*Aplicació d’un ACEE a la cadena propulsora de l’embarcació elèctrica LADY*”. De Pau Lopez (ETSEIB)
- “*Estudio hidrodinámico por CFD de una lancha motora*”. De Jordi Bartrons i Casademont.
- “*Càlcul de les taules hidrostàtiques i del criteri d’Estabilitat segons ISO 12217-1 de l’embarcació Lady*”. De Marta Ferrer
- Jan Villanueva i Felip Peiró (FNB) aprofitament de gasos amb petita turbina rankine,
- Albert Rejas (màster energia de electricitat) generació d’hidrogen a partir del calor,
- Marc Oliva (UNED) assajos de la cadena propulsora.

3. Evolució de la cadena energètica

3.1. Resum del primer disseny

Després d'un disseny previ sense alternador, descartat per un comportament inestable, la cadena energètica quedava de la següent manera:

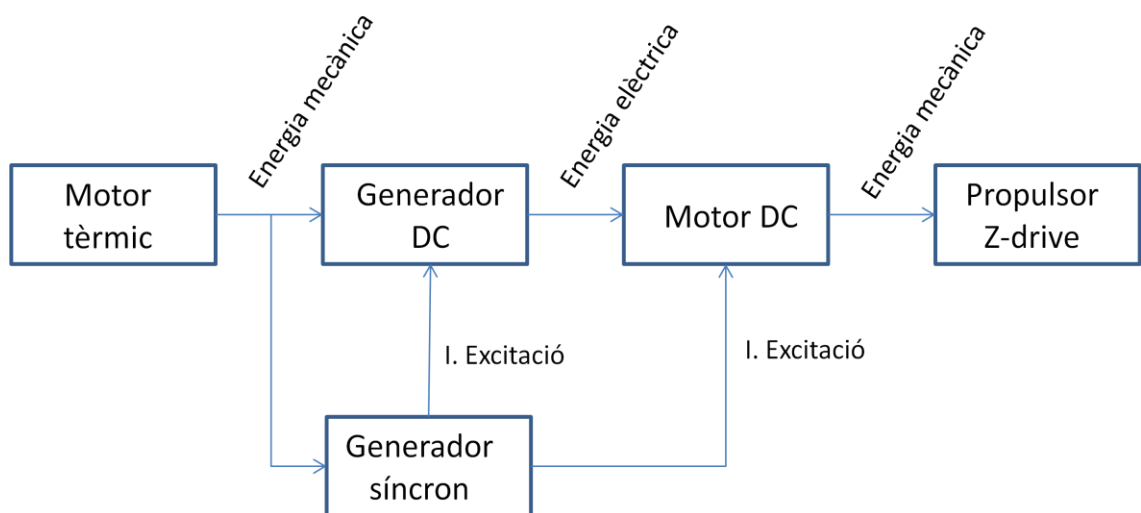


Figura 05. Esquema del primer disseny de la cadena energètica de la Lady

La cadena energètica formada pel motor HONDA de 13CV acoblada a una dinamo (4,5kW) amb un alternador de 5,5kVA per alimentar un motor DC (18kW) ha estat descartada.

En primera instància cal recordar que els elements que en formaven part, eren elements reciclats que moltes vegades no donaven les prestacions òptimes. També s'elegeixen elements en funció del seu

pes, ja que del total que afegim no poden excedir dels 712kg aproximadament.

Un dels punts en contra era la dinamo ja que té una velocitat nominal de 1460 rpm i es volia fer girar a 3000 rpm. L'alternador ha d'anar a 3000rpm per alimentar els sistemes a 50Hz. Doblar les rpm també feia doblar la tensió i potència de la dinamo impedit que pogués treballar de forma permanent garantint un bon funcionament.

Pel que fa al motor DC de 18kW estava sobredimensionat per un motor tèrmic de 13CV. Aquest motor havia d'alimentar la Z-drive que també va ser descartada bàsicament pel seu alt consum, pes i dimensions.

Abans d'aquest disseny i independentment de Lady, s'havien provat els propulsors de la Ras de 2,2kW cada un. Com que en aquest projecte recuperem aquest propulsors, els assaigs previs resulten interessants.

Es van provar amb dos grups electrògens diferents, un amb motor de 13CV i alternador de 6,5KVA. L'altre amb un motor de 9CV i 8,5kVA d'alternador.

La primera va resultar ser un alternador insuficientment potent pels propulsors. Pel que fa a la segona combinació, els 8,5kVA ja donaven un millor resultat. Tot i així aquest alternador resulta poc potent a l'hora d'afrontar transitoris amb major demanda com pot ser la arrancada del motor. Per això en els projectes anteriors es fan tants estudis amb compensadors cinètics.

3.2. Proporció generador – alternador

L'objectiu, des d'un punt de vista del consum, és reduir la potència del motor tèrmic per estalviar combustible. Pel dimensionat del tèrmic s'ha de garantir que doni una potència suficient per alimentar els propulsors en règim permanent. L'alternador, és el que ha de ser sobredimensionat per tal de donar resposta als transitoris, com poden ser les acceleracions.

En el resum dels projectes fets a la RAS es veu com un primer grup electrogen de 13CV (9,5kW) i 6,5kVA d'alternador no es capaç d'alimentar dos propulsors de 2,2kW cada un. En canvi si augmentàvem l'alternador a 8,5kVA si que es va poder arrancar els propulsors tot i reduint el tèrmic a 9CV (6,6kW). Es demostra que no calia el motor de 13CV per cobrir les acceleracions.

Els generadors estàndard ja venen amb l'alternador sobredimensionat un 20% aproximadament. Si es volen alternadors més grans, solen ser comandos especials.

3.3. Justificació del nou disseny

En aquest punt es decideix utilitzar un nou grup electrogen i utilitzar els propulsors de la Ras.

Aquests propulsors son molt versàtils per les seves reduïdes dimensions i ens permeten col·locar-los fàcilment en diferents punts estratègics. Tenen un consum molt més baix que l'anterior. Això farà que Lady sigui menys potent, però la potència no és el nostre objectiu. Així també podem fer proves amb grups electrògens menys potents.

Es creu que els propulsors a Lady tenen més potencial que a la Ras. El catamarà pesa massa incloent el pes del pilot. Els propulsors estaven dissenyats prèviament com a hèlix de superfície. El pes enfonsa massa l'hèlix augmentant el seu consum per sobre del nominal. Un altre punt en contra que té la RAS és la falta d'accessibilitat, ja que si el pilot està amb el control de la embarcació ningú més pot prendre mesures del comportament de la cadena. A Lady aquests punts en contra desapareixen.

El nou grup electrogen ens ha de permetre el funcionament continu sense sobrecarregar l'alternador. Aquest grup és més compacte i lleuger que la antiga cadena energètica i també ens permet aprofitar la bancada construïda per tal de col·locar-lo allà on més ens interessi.

Pel que fa als compensadors síncrons utilitzats per cobrir demandes als transitoris queden descartats en aquest projecte. El compensador té varis punts en contra; s'ha d'accelerar i en permanència consumeix una part significativa d'energia, també ocupa molt espai i pesa significativament, encareix el preu i afegeix una variable nova a controlar a Lady (la seva velocitat de rotació).

Tots aquests punts en contra s'estaven assumint només per cobrir transitoris que solen durar menys d'un segon. Sobredimensionant l'alternador obtindrem la potència necessària per cobrir aquests transitoris sense fer ús dels compensadors.

4. Nou disseny de la cadena energètica

4.1. Generador HYUNDAI DHY6000SE-3 de 6,2kVA

Reciclat l'estiu de 2017, a partir del sistema de generació d'emergència del servei de microscòpia electrònica del departament de Ciència dels Materials de ETSEIB. S'aprofita del trasllat al campus de llevant EEBE.

4.1.1. Característiques del generador

Característiques	generador	HYUNDAI
Model		DHY6000SE-3
Freqüència		50 Hz
Pot. Nominal		6,25 kVA / 2.2 kVA
Pot. Màxima		6.6 kVA / 2.8 kVA
Voltatge		380 / 220 V
Corrent		11 A
Capacitat dipòsit		11L
Funcionament al 50% càrrega		16h
Motor		Diesel
Potència		10CV
Alternador		
Potència nominal		6,3 kVA
Factor de potència		0,8
Pes net		160kg
Pes brut		167kg

Taula 06. Característiques del grup electrogen.

Avantatges del generador:

El fet que sigui diesel obra una finestra de possibilitats noves ja que a baixes revolucions dóna més parell que un motor tèrmic a gasolina.

Un altre punt a favor és que el generador i l'alternador van en un pack i està insonoritzat. Això farà molt més còmoda l'estada a Lady durant la navegació al tenir més espai i menys soroll. També queden més protegits els elements de transmissió i es guanya seguretat a bord.

En contra tenim la potència de l'alternador de 6,3kVA insuficient per arrancar els propulsors sense provocar una gran caiguda de tensió. Possiblement caldrà més d'un grup electrogen.

4.2. Propulsors elèctrics

Els propulsors rescatats de la embarcació Ras són motors asíncrons trifàsics d'inducció, també coneguts com motors de gàbia d'esquirol. Són motors senzills, robustos i submergibles.

Les característiques bàsiques dels motors, definició de components i dimensions externes definides seguidament, estan extretes del projecte de Albert Peregrina (Ref.PFC.01).

4.2.1. Característiques

Marca		TESLA	
Model		GF420T353	
Potència (kW)	2,2	Factor de Potència	0,82
Freqüència (Hz)	50	Angle φ	35°
Tensió (V)	380	Parell Nominal (Nm)	6,2
R.P.M.	2830	Parell d'arrencada (Nm)	13,5
I. nominal (A)	5,5	Parell màxim (Nm)	18,5
I. d'arrencada (A)	23	Empenta axial superior (N)	750
Rendiment	78%	Empenta axial inferior (N)	3000
Protecció IP	68	Pes (kg)	13,9

Taula 07. Característiques dels propulsors.

Font: A. Peregrina Ref.PFC.01

4.2.2. Components

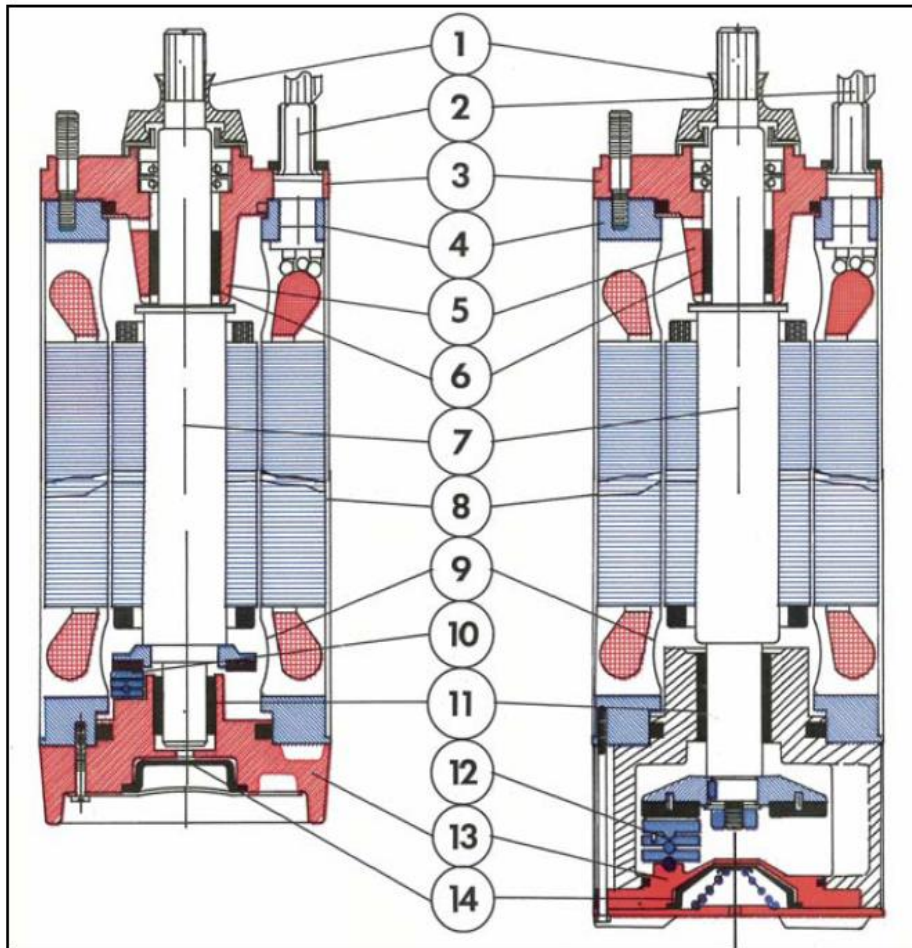


Figura 06. Components del propulsor

Font: A. Peregrina Ref.PFC.01

- 1- Junta NBR
- 2- Connector extraïble
- 3- Brida d'acoblament NEMA
- 4- Estator. Material AISI 304
- 5- Suport superior. Material OT58
- 6- Coixinet radial superior
- 7- Eix i rotor
- 8- Camisa externa. Material AISI 304

- 9- Camisa interna. Material AISI 304
- 10- Sistema oscil·lant
- 11- Coixinet radial inferior
- 12- Sistema oscil·lant
- 13- Suport inferior. Material OT58
- 14- Diafragma NSR

4.2.3. Dimensions exteriors

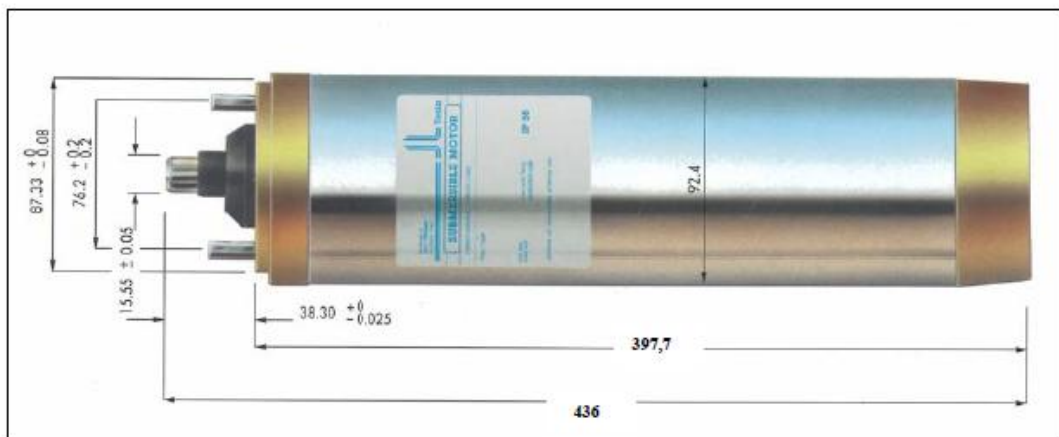


Figura 07 Dimensions del propulsor.

Font: A. Peregrina Ref.PFC.01

4.2.4. Potències

Per tal de dimensionar correctament la nova cadena energètica s'ha de tenir clar els consums dels propulsors.

Triangle de potències a la entrada del propulsor (condicions nominals):

- Potència aparent (S) = $I_N \cdot V \cdot \sqrt{3} = 3,6 \text{ kVA}$
- Potència activa (P) = $S \cdot \cos(\varphi) = 2,9 \text{ kW}$

- Potència reactiva (Q) = $S \cdot \sin(\varphi) = 2 \text{ kVAr}$

Potència consumida a la arrancada:

- Potència aparent (S) = $I_A \cdot V \cdot \sqrt{3} = 15,1 \text{ kVA}$

4.2.5. Hèlix

Les dos hèlix de que es disposa són tripales de bronze. Duen unes inscripcions per tal de diferenciar-les ja que una és de gir horari (L4873) i l'altre antihorari (L4872). Ambdues tenen un diàmetre de 203,2 mm i un pas de 127mm.

En el projecte de Pedro Mas (Ref.PFC.04) es calcula la velocitat de lliscament (1,64 m/s) i el coeficient de lliscament (0,44).

Realitza una gràfica on compara la velocitat teòrica producte del pas per les rpm i la velocitat real del fluid:

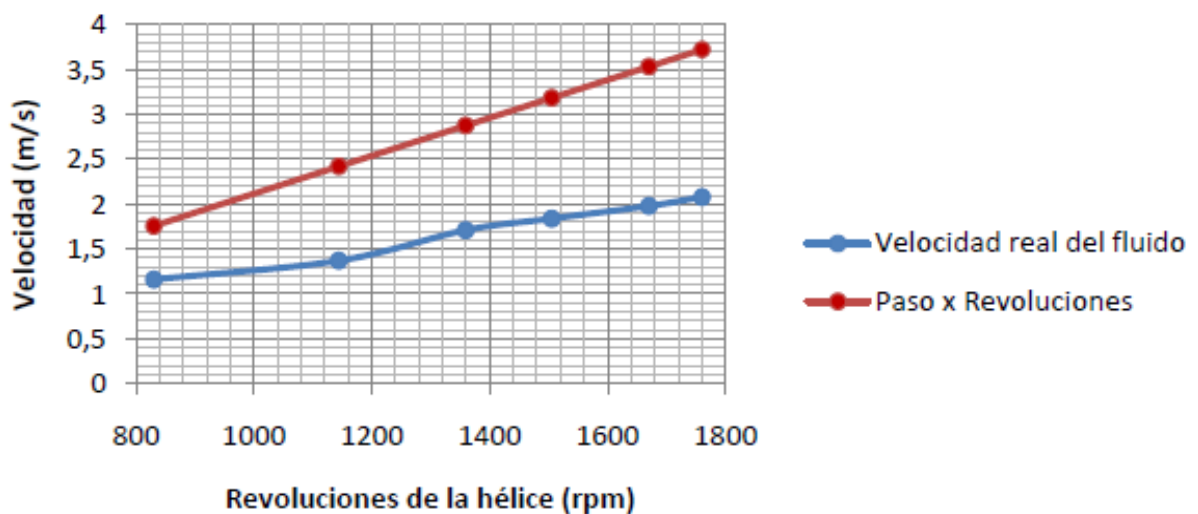


Figura 08. Velocitat teòrica vs velocitat real.

Font: Pedro Mas Ref.PFC.04

Els propulsors de la Ras es van dissenyar per tenir l'hèlix de superfície. Per aquest motiu si es submergeix totalment l'hèlix, en principi, tenim als motors consums per sobre del nominal (5,5A).

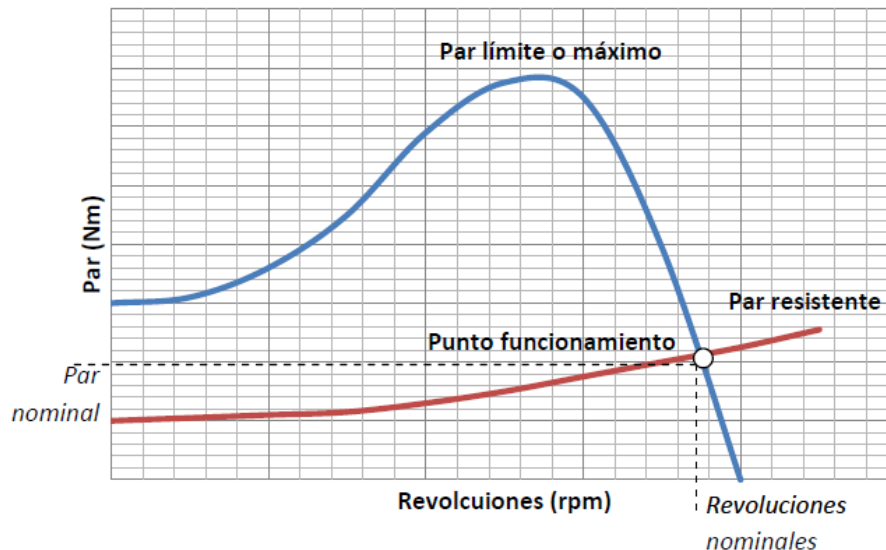


Figura 09. Diagrama parell – revolucions.

Font: Pedro Mas Ref.PFC.04

A mesura que disminuïm la profunditat de l'hèlix (tenint una part a la superfície o molt a prop), el seu parell resistent (línea vermella de la figura 09) disminueix. En aquest projecte es vol comprovar aquest comportament en les proves realitzades al RCMB, així com la seva estabilitat.

En l'assaig de Pedro Mas, no es va poder arribar a les 2830rpm del propulsor per les petites dimensions de la piscina que feia que l'aigua desbordés.

4.2.6. Estructura de subjecció dels propulsors

L'estructura que s'ideja consta de dues barres paral·leles per a cada propulsor d'acer inoxidable 316L (més resistent a la corrosió) collades a l'espill de popa.

Aquestes barres en forma de L i perforades en varis punts faria possible i fàcil la fixació dels propulsors en diferents posicions. Així els propulsors podrien instal·lar-se des de centrats i profunds a més separats i menys profunds. Amb aquesta estructura permetríem la col·locació de més propulsors en el futur.

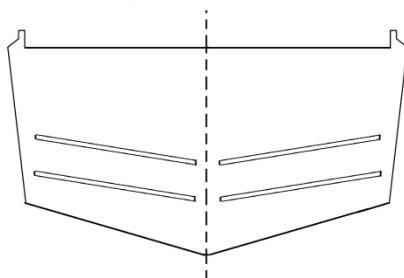


Figura 10. Idea esquemàtica de l'estructura pels propulsors

Totes les barres de l'estructura han d'estar interconnectades aconseguint equipotencialitat entre elles. Si els objectes metàl·lics estan connectats per un camí de baixa resistència, no existirà una diferència de voltatge significativa entre ells. Amb tots els elements metàl·lics connectats entre si (terra) i un sistema de protecció catòdica instal·lant ànodes de sacrifici (per exemple de zinc) evitem la corrosió galvànica dels elements metàl·lics.

5. Proves realitzades al RCMB

Els assaigs dels propulsors es fan al simulador de rem del Reial Club Marítim de Barcelona. Aquestes instal·lacions disposen de dues piscines on els remers fan entrenament de rem. En les piscines podem provar els propulsors i alhora també es podrà generar onades amb els remes i observar com afecte al consum del propulsor al pas d'una ona.

L'alimentació dels propulsors ve de la xarxa a través d'un transformador a 380V trifàsic. En aquests assaigs no es fa servir el controlador de la Ras sinó que es connecta a la xarxa a través d'un control per contactors i un guarda motor de seguretat. El controlador disposa de dos contactors, un per cada propulsor, i també permet controlar el sentit de gir de l'hèlix.



Figura 11. Vista de les instal·lacions del RCMB

5.1. Primer assaig al Reial Club Marítim de Barcelona

5.1.1. Planificació del primer assaig

Les primeres proves es fan a la piscina esquerra de la figura 11. S'instal·la un propulsor a la cantonada inferior dreta de la mateixa figura. S'impulsarà l'aigua fent-la circular pel perímetre de la piscina i anirà donant voltes. La piscina consta d'un túnel en una de les parets. Es creu adient enfocar el propulsor a l'entrada d'aquest túnel per tal de facilitar la circulació de l'aigua.

En els projectes predecessors, es van realitzar proves amb l'hèlix totalment submergida registrant valors de consums superiors als 5,5 A nominals ja que l'hèlix tenia massa parell resistent. Això passa perquè els propulsors es van dissenyar de tal forma que les hèlix fossin de superfície. S'ha de tenir en compte però, que en els assaigs anteriors no es van assolir grans velocitats de l'aigua i això influeix al parell resistent.

En aquest assaig es vol fer tres proves diferents variant l'altura en que es col·loca el propulsor respecte el nivell d'aigua. S'instal·larà l'hèlix amb un extrem d'una pala fora del nivell d'aigua en repòs o molt pròxim a ell per tal de minimitzar el parell resistent.

S'ha volgut comprovar com afecta als consums variant l'altura de l'hèlix arran d'una de les últimes proves realitzades a la Ras al canal de ponts i camins. En aquella ocasió es detecta que els propulsors sí que van treballar amb un consum nominal. La Llanxa estava subjectada amb un amarratge per tal que no avancés amb la

propulsió. Es creu que aquell amarratge tenia una component vertical que feia que l'hèlix treballés a una profunditat menor.

L'objectiu de l'assaig és veure els consums en funció de la profunditat de l'hèlix i posteriorment observar la variació del consum generant ones amb els remes que ens cobreixi l'hèlix totalment de forma periòdica.

Amb dos serjants i fustes de diferents dimensions podem controlar l'altura del propulsor.



Figura 12. Vista de la instal·lació del propulsor.

5.1.2. Proves del primer assaig

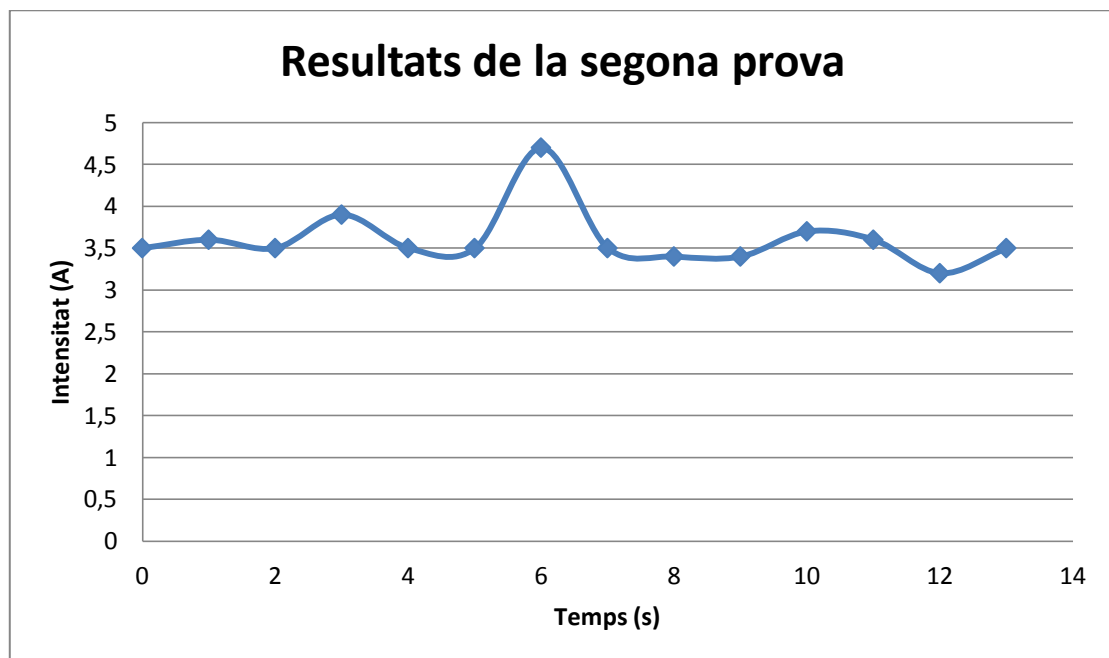
- Primera prova. Eix del propulsor 4cm per sota del nivell de l'aigua.

Es registra un consum de 3,2 A en règim estacionari. Al generar onades amb el rem, el consum augmenta a 3,4 A quan l'ona passa per l'hèlix.

- Segona prova. Eix del propulsor 9cm per sota del nivell de l'aigua. Es col·loca el propulsor en una altre zona on s'observa que el pas de l'ona és més significatiu.

S'observa que el consum en règim estacionari ha augmentant a 3,6A.

Posteriorment es realitza la lectura generant onades amb el rem i s'anoten els consums en un període de 15 segons.



Gràfic 01. Resultat de la segona prova

Com es pot comprovar, les onades arriben al propulsor de manera irregular, ja que depèn de la força i la profunditat de la palada. En

general s'observa consums de 4A al pas de l'onada però arribem a tenir pics de fins a 5A.

- Tercera prova. Eix del propulsor 13cm per sota del nivell de l'aigua.

En aquesta prova es mesura un consum en règim estacionari de 3,8 A. Al generar les ones s'observen generalment pics de 5A i un de 7A (passant ja de la intensitat nominal del propulsor).

S'estima una velocitat lineal de l'aigua de 0,2m/s (0,4 nusos).

5.1.3. Conclusions del primer assaig

S'observa com, efectivament, el consum augmenta al augmentar la profunditat de l'hèlix. Si disminuïm la profunditat es comprova que al haver menys parell resistent els consums son més baixos. Arribem a valors per sota del nominal del motor. Observem que el pas de l'ona també augmenta el consum.

Així doncs, es veu que es pot treballar com a una hèlix de superfície. La estructura al mirall de popa de Lady permet la instal·lació dels propulsors a diferents altures.

5.2. Segon assaig al Reial Club Marítim de Barcelona

5.2.1. Planificació del segon assaig

Es torna al R.C.M.B. per a provar de nou el propulsor. Aquest cop es vol saber els consums del motor amb l'hèlix a més profunditat i fer una estimació de la velocitat de l'aigua. L'objectiu es saber si amb prou velocitat de l'aigua el motor pot fer consums nominals encara que estiguin treballant per sota la superfície completament. A més velocitat de l'aigua hi ha menys parell resistent.

Aquesta vegada es dissenya una petita estructura amb l'ajuda de R.C.M.B. que fa el propulsor més transportable.

5.2.2. Proves del segon assaig

- Primera prova. Eix del propulsor 20cm per sota del nivell de l'aigua. (Hèlix totalment submergida).

Durant aquesta prova s'observa que el propulsor xucla aire creant un consum oscil·latori de entre 7 a 11 A. Efectivament com s'havia vist en anteriors experiments estem per sobre del consum nominal.

S'observa un gran augment de la velocitat lineal de l'aigua respecte al primer assaig. S'estima que ha arribat a una velocitat de 0,75m/s (1,5 nusos).

- Segona prova. Eix del propulsor a 16 i 18cm per sota del nivell de l'aigua. (Hèlix totalment submergida).

En aquesta prova s'observa també que es xucla aire. El consum segueix sent oscil·lant però es veu un descens, sent de 4 a 8 A als 18cm de profunditat.

En aquesta mateixa prova, ajustant una mica més la altura deixant l'eix a 16 cm del nivell de l'aigua en repòs, veiem consums de 4,5 a 6,5 A. En aquesta profunditat veiem valors al voltant dels nominals del motor.

S'observa que la velocitat lineal de l'aigua segueix sent d'uns 1,5 nusos. La nova estructura permet enfocar millor l'aigua propulsada cap a l'interior del túnel i per això s'obté velocitats més altes.

5.2.3. Conclusions del segon assaig

S'observen consums per sobre del nominal del motor quan l'hèlix treballa totalment submergida. El consum més gran observat a sigut de 8A.

Vist aquests nous resultats, es creu que si aconseguim velocitats lineals de l'aigua superiors podríem estar dins del consum nominal del motor ja que tindríem menys parell resistent. Això es vol aconseguir instal·lant el segon propulsor a la mateixa piscina.

S'observa que a la sortida del túnel es generen turbulències i ones generades pel xoc de l'aigua amb la paret frontal. Aquesta zona resulta ser dues parets perpendiculars sense pràcticament un radi de curvatura generant grans pèrdues de càrrega en aquell punt.

Amb els dos punts anteriors es conclou que la col·locació del segon propulsor ha de estar a la sortida del túnel ajudant a recircular l'aigua i propulsant-la cap al centre de la piscina.

Pel que fa a la estructura provada en aquest assaig, no es garanteix la suficient fixació quan el motor està en funcionament. L'actual disseny només permet subjectar l'estructura amb un serjant per un punt i això no evita rotacions.

5.3. Tercer assaig al Reial Club Marítim de Barcelona

5.3.1. Planificació del tercer assaig

En aquestes noves proves es vol usar un sistema per a mesurar la velocitat de l'aigua ja que ens interessa veure com influeix. Es farà servir la antiga corredera de la Ras.

Aquest cop es vol fer un assaig amb dos propulsors i cal pensar en la estructura d'aquests per tal de que no faci falta algú subjectant-lo.

Pel que fa la estructura del primer propulsor es solda una plataforma rectangular que es pugui recolzar al terra i tingui suficient espai per a poder agafar-la amb dos serjants.

Per la nova estructura es fa un disseny diferent ja que aquesta es recolzarà en una cantonada.

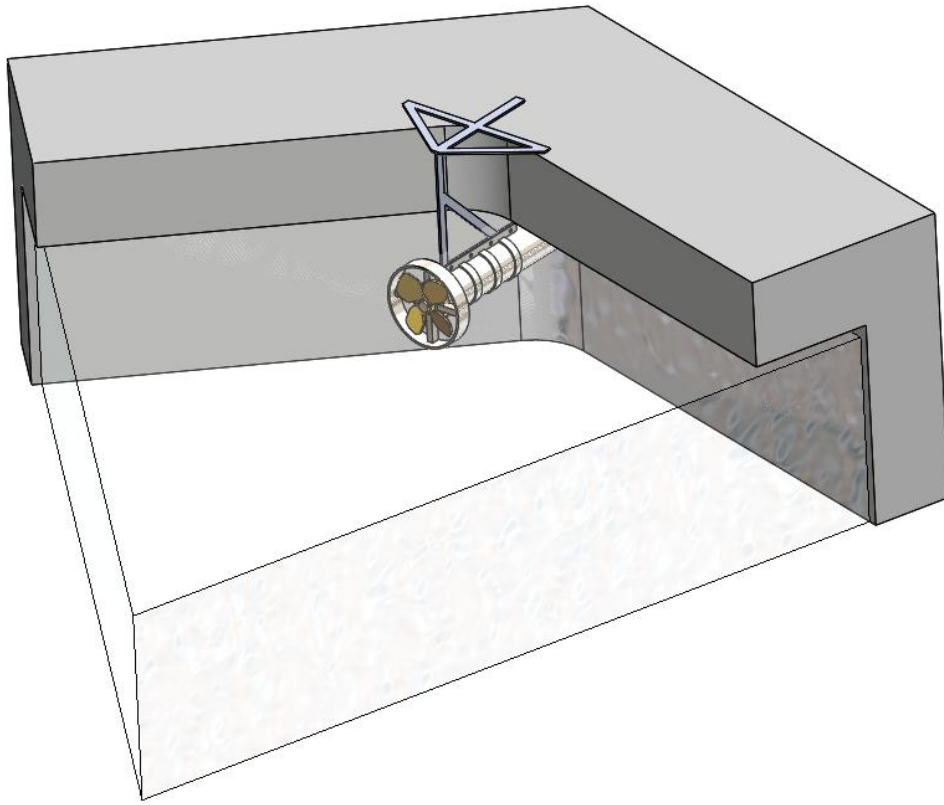


Figura 13. Estructura dissenyada

En aquest assaig es vol confirmar si amb l'augment de la velocitat lineal de l'aigua podem tenir consums nominals als motors. Si es així s'estimarà quina és aquesta velocitat.

5.3.2. Calibratge de la rodeta de mesura.

Es recupera l'antiga rodeta de la corredera de la Ras per tal d'obtenir de forma més eficient la velocitat lineal de l'aigua.

Al realitzar les proves s'utilitzarà una bateria de 12V que garantirà fer les proves a diferents punts de la piscina de forma autònoma.

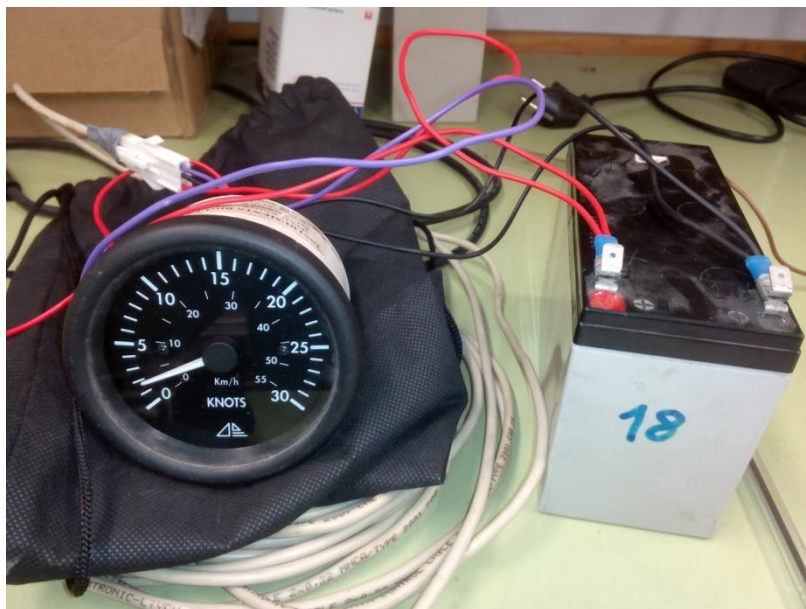


Figura 14. Corredera de Lady

L'aparell de Bigues S.L. model V608050-B s'alimenta a 12V i pot mesurar fins a 30 nusos. El consum de la corredera és de 75mA (0,9W) i disposa d'una llum de 2,9W amb un consum de 240mA.

Es realitza el cablejat de nou seguint el següent esquema:

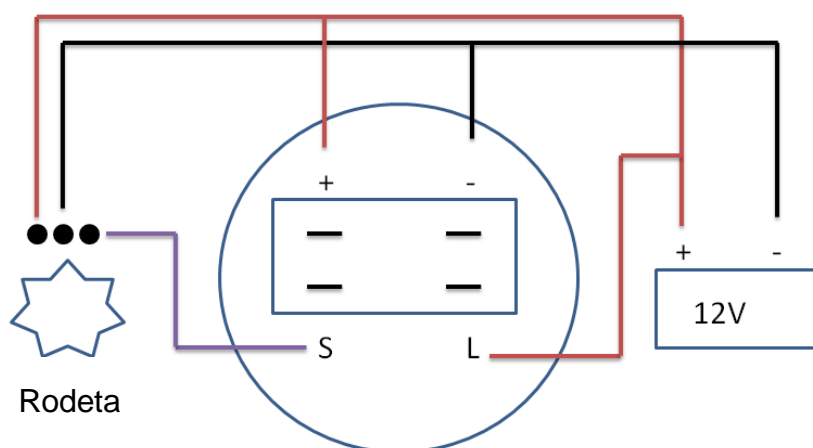


Figura 15. Circuit de la corredera

Pel calibratge de l'aparell s'ha fet un experiment a partir d'un tub de 1cm de diàmetre igual que el de la entrada de l'aparell mesurador

on es troba la rodeta. Sabem que d'aquest tub tenim un caudal de $67,2 \text{ cm}^3/\text{s}$ (mesurat amb cronòmetre i un recipient calibrat). El diàmetre del tub és de 1cm per tant la seva secció és de $0,78 \text{ cm}^2$. Es a dir, l'aigua circula a $0,86 \text{ m/s}$ ($3,1 \text{ Km/h}$).

Al posar la rodeta, la corredera marca 4 nusos ($7,4 \text{ km/h}$).

Tenint la rodeta sense moviment la corredera te un offset de 2 nusos ($3,7 \text{ km/h}$). Si restem aquest offset a la mesura de la corredera tenim que la velocitat real seria $3,7 \text{ km/h}$. Tenim un error de $0,6 \text{ km/h}$ (pràcticament un 20% d'error).

Es decideix mantenir l'ajust original i no treure el precinte per tal de calibrar-lo. Aquest aparell es vol aprofitar per Lady i si cal ja es calibrarà en un futur. Per tant, l'aparell passa a ser un indicador i no una mesura de precisió. Coneixent l'error i l'offset ja ens permetrà saber al voltant de quina magnitud es troba la velocitat de l'aigua.

5.3.3. Disseny del difusor

La rodeta de Lady està dissenyada per mesurar velocitats lineals superiors a les que aconseguim a la piscina. Per tal de tenir una lectura més clara s'ha dissenyat un difusor de plàstic imprès en una impressora 3D per tal de augmentar la velocitat de l'aigua en el rodet.

Sabem que estem en l'ordre de 0,5 a 2 nusos depenen de la prova. Amb el difusor, la lectura serà x vegades més alta i serà més fàcil de llegir. El valor de x dependrà del disseny del difusor.

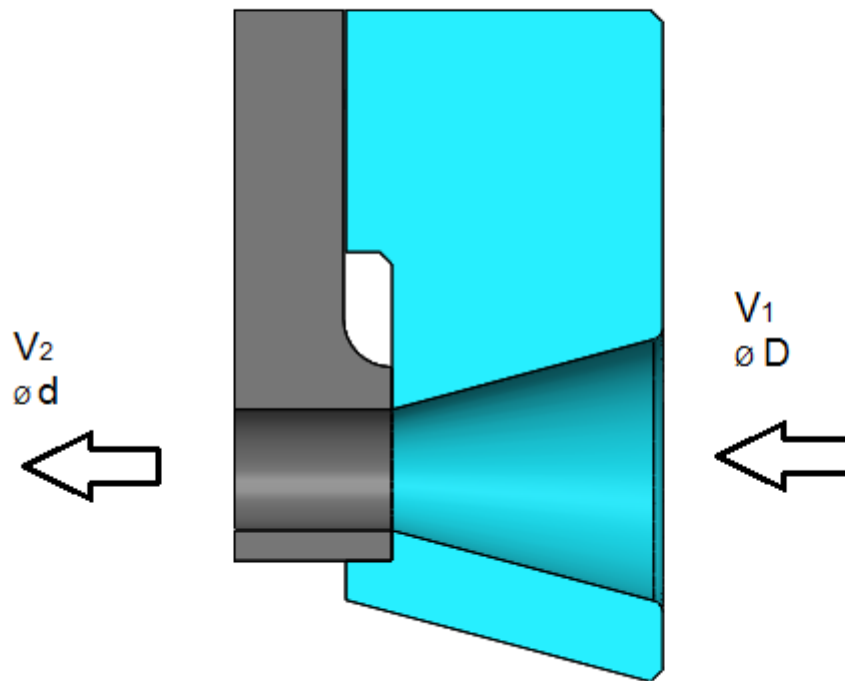


Figura 16. Vista secció del difusor.

Partint de la peça negra de la figura 16 on està adherida la rodeta es dissenya la peça blava on s'hi dissenya el difusor cònic. Per tal de conèixer les dimensions que ha de tenir es fan els següents càlculs.

Considerant que volem augmentar la lectura per 5 imposem que,

$$V_1 = 5 \text{ nusos (2,6 m/s)}$$

$$V_2 = 25 \text{ nusos (12,8 m/s)}$$

I sent,

$$\varnothing d = 1 \text{ cm}$$

$$m \frac{(v_2 - v_1)^2}{2g} = m \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right] \cdot \frac{v_2^2}{2g}$$

Font: Ref.LL.01

Desenvolupant la fórmula,

$$v_2 - v_1 = \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right] \cdot v_2$$

$$0,79 = 1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2$$

$$0,20 = \left(\frac{d}{D} \right)^2$$

$$0,45 = \frac{d}{D}$$

$$D = 0,022\text{m} = \mathbf{2,2\text{ cm}}$$

Així doncs, per tal que la lectura de la corredera es multipliqui per 5, el diàmetre gran del difusor haurà de ser de Ø2,2cm. L'angle del con serà de 30° ja que aquest és un angle suau i minimitza les pèrdues de càrrega.

Per tant per les velocitats estimades de la piscina hauríem de llegir:

Velocitat estimada	Velocitat corredera (amb difusor)
0,50 m/s (1,0 nus)	2,50 m/s (4,9 nusos)
0,75 m/s (1,5 nusos)	3,75 m/s (7,3 nusos)
1,00 m/s (1,9 nusos)	5,00 m/s (9,7 nusos)
1,25 m/s (2,4 nusos)	6,25 m/s (12,1 nusos)
1,50 m/s (2,9 nusos)	7,50 m/s (14,6 nusos)
1,75 m/s (3,4 nusos)	8,75 m/s (17,0 nusos)
2,00 m/s (3,9 nusos)	10,0 m/s (19,4 nusos)

Taula 08. Relació de velocitats amb el difusor.

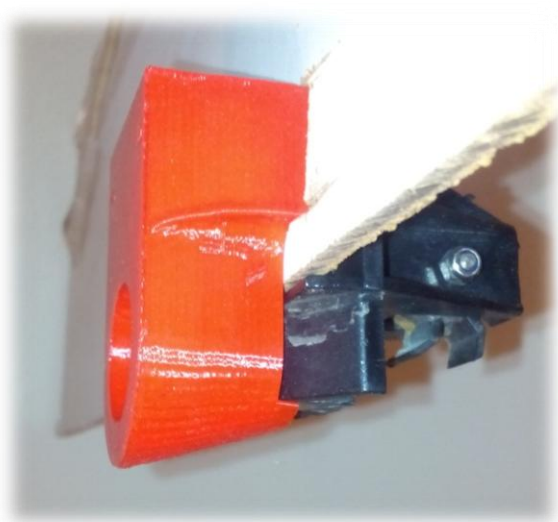
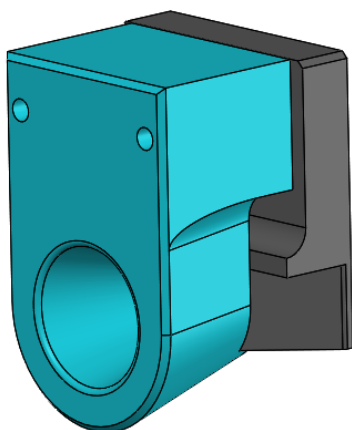


Figura 17. Disseny del difusor 3D i peça impresa.

Pel que fa al disseny exterior s'arrodoneixen les cantonades i es realitza una rampa a la zona cònica per tal d'evitar possibles turbulències que ens afecti a la mesura.

5.3.4. Proves del tercer assaig

- Estructures:

Tant la millora de la primera estructura com la nova s'han pogut instal·lar com s'havia previst i s'han pogut subjectar fixament amb dos serjants cada un. Aquestes estructures més robustes han permès el funcionament dels propulsors sense que ningú els hagués de subjectar per evitar rotacions derivades de la empenta del propulsor.

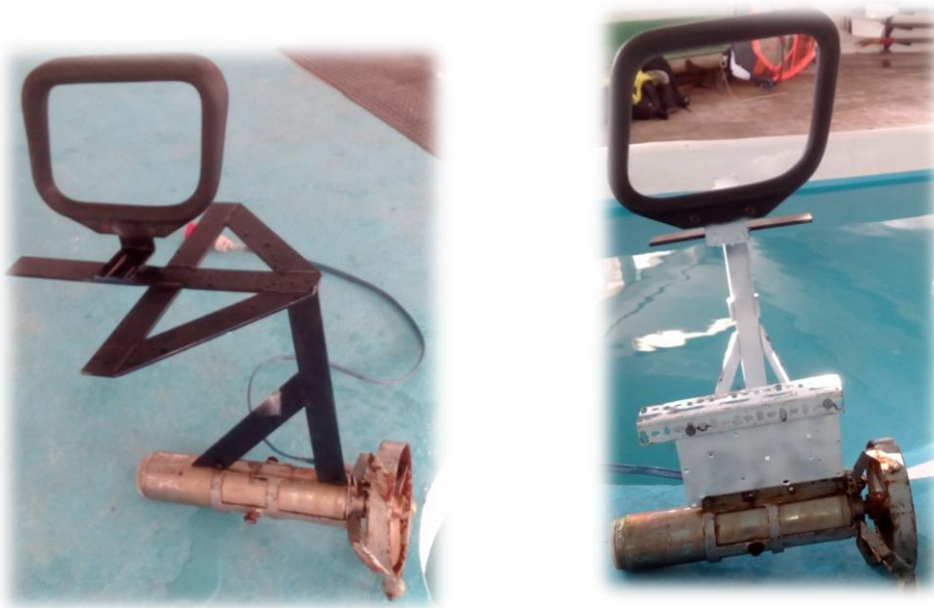


Figura 18. Estructures dels propulsors per a les proves al RCMB

- Corredera per la mesura de la velocitat de l'aigua:

No s'ha pogut fer cap lectura amb aquest aparell. Al connectar-lo a la bateria ha aparegut l'offset de 2 nusos i al posar la rodeta a

l'aigua solament ha marcat fins a 3 nusos. Una velocitat d'un nus és totalment errònia tenint en compte que el difusor ens està multiplicant per 5 la velocitat de l'aigua i el propi error calculat prèviament ens indica que la rodeta fa lectures més grans que la real. Per tant esperàvem com a mínim una marca de 11 nusos (contant l'error, offset, difusor i estimació de velocitat de l'aigua del segon assaig).

Es fan proves a diferents punt de la piscina, diferents profunditats, es treu el difusor i inclús es col·loca la rodeta davant d'un propulsor i la lectura resta inalterable.

- Proves realitzades:

Les proves han consistit en engegar primer el propulsor 1, que és l'original col·locat a la entrada del túnel. Al cap de 20 segons s'engega el propulsor 2, provat per primera vegada i instal·lat a la sortida del túnel propulsant l'aigua al centre de la piscina. Això es fa perquè el propulsor 2 està a 20cm de profunditat i sense una velocitat prèvia de l'aigua tindria un consum massa alt per sobre del nominal. Els resultats de les proves:

Propulsor 1: Eix a 17cm per sota el nivell de l'aigua.

Propulsor 2: Eix a 20cm per sota el nivell de l'aigua.

Primera prova:

Consums dels propulsors:

Temps	Propulsor 1	Propulsor 2
5 s	5 – 7 A	-
30 s	5 – 6 A	10 – 11 A
1 min	4 – 6 A	8 – 10 A
5 min	4 – 6 A	7,5 – 8,5 A

Taula 09. Resultat de la primera prova. Tercer assaig.

Segona prova:

Consums dels propulsors:

Temps	Propulsor 1	Propulsor 2
5 s	5 – 7 A	-
30 s	5 – 6 A	9 – 11 A
1 min	5 – 6 A	7 – 9 A
5 min	4 – 6 A	7 – 8 A

Taula 10. Resultat de la segona prova. Tercer assaig.

Donat que el sistema corredera per a mesurar la velocitat de l'aigua no ha funcionat, s'ha tornat a fer una estimació de la velocitat a través de cronometrar partícules flotants a la piscina. A diferència dels altres dos assaigs on teníem només un propulsor ha sigut més complicat fer la estimació. Als primers assaigs l'aigua circulava de forma més regular seguint el perímetre de la piscina, en canvi en aquest assaig, tenint el segon propulsor empenyen aigua al centre de la piscina, genera remolins a les cantonades de la piscina. Les

partícules flotants no tenen la mateixa velocitat al llarg de tot un costat de la piscina. Per tant es fa la estimació en un tram més curt donant una velocitat aproximada de 1m/s.

5.3.5. Conclusions del tercer assaig

La corredera ha resultat no ser útil per aquest assaig. Està dissenyada per instal·lar-la al pantoc d'una llanxa on l'aigua hi circula a velocitats molt més altes que la de la piscina. A més, l'aigua sota el pantoc presenta un règim laminar i a la piscina s'observen grans turbulències que impedeixen fer una bona lectura.

Si en proves futures, si es vol usar la mateixa corredera s'ha de dissenyar una estructura prou gran perquè dirigeixi grans quantitats d'aigua cap a la corredera simulant el pantoc d'una llanxa. Això no ens ha permès tenir mesures més precises de la velocitat de l'aigua.

Pel que fa a les proves realitzades als propulsors observem que al llarg del temps els consums van disminuint. Això passa per que partim de l'aigua en repòs i al engegar els propulsors s'accelera fins arribar a un règim permanent. Per tant veiem una clara relació entre la velocitat de l'aigua i el consum del propulsor.

En aquest assaig veiem consums massa alts al propulsor 2, però el resultat interessant respecte els altres assaigs és el consum del propulsor 1. Aquest, tot i que l'eix està a 17cm de profunditat (amb l'hèlix sota l'aigua completament) tenim pràcticament un consum nominal del motor. Com que ens segueix xuclant aire el consum és oscil·lant.

Augmentant la velocitat de l'aigua s'ha pogut reduir el consum del propulsor fins deixar-lo a corrents nominals tot i estar l'hèlix totalment submergida.

5.4. Conclusions generals dels assaigs realitzats al RCMB.

Per fer una conclusió final de les proves, es representa a continuació totes les dades obtingudes. Recordem que l'hèlix fa 20cm de diàmetre aproximadament.

Profunditat eix (cm)	Velocitat aigua estimada (Nusos)	Consum motor (A)
4	0,4	3,2
9	0,4	3,6
13	0,4	3,8
16	1,5	4,5 – 6,5
17	2	4 - 6
18	1,5	4 - 8
20	1,5	7 – 11
20	2	7,5 – 8,5
24	1,5	10 - 12

Taula 11. Resum dels resultats dels assaigs a RCMB

Es demostra que la profunditat de l'hèlix influeix al consum del propulsor. Quan més profunda està, més parell resistent troba (tenint també més pressió) i per tant consumeix més.

En quan a la velocitat, es veu comparant diferents velocitats a la mateixa altura de hèlix. La diferencia de velocitat és molt poca i en general totes són molt baixes. A més a més aquestes velocitats son estimacions fetes amb la observació. Tot i així s'observa una disminució del consum en funció de la velocitat de l'aigua. Com més ràpida va menys consum tenim.

Veiem que a 17cm de profunditat i 2 nusos aproximadament tenim un consum oscil·lant al voltat del corrent nominal. Per tan deduïm que aquest propulsor instal·lat a Lady pot funcionar a consum nominal si estem a velocitats superiors a la obtinguda aquí.

Tanmateix cal remarcar que velocitats mes baixes o al voltant d'aquesta fa que el motor treballi per sobre de les seves possibilitats ja que els seu corrent nominal és 5,5A.

6. Control de pilotatge.

El sistema de control està recuperat de la llanxa Ras. En el seu disseny anterior es va tenir que fer el més compacte possible per tal de instal·lar-lo a la llanxa. Ara amb Lady tenim molt més espai i al poder pujar més d'una persona, es pot portar el control de la embarcació alhora que altres poden prendre mesures elèctriques.

Es fa una prova del funcionament a l'ETSEIB. Es detecten transformadors i contactors desconnectats i no s'aconsegueix el correcte funcionament de la pantalla de control PM850. Es comprova el funcionament del sistema tant per contactors com per variadors de freqüència amb uns ventiladors trifàsics (substituint els propulsors que no poden funcionar fora de l'aigua). Hi ha contactors intercanviats que relacionen erròniament botonera de estribord amb ordres de bavor.

Per aquests motius es desconnecta tot per tal de fer un nou disseny i adaptar-lo a les noves condicions. Es decideix dur el sistema de control a l'INB i des de allà es farà el control d'obra i el nou cablejat.

Imatges de l'estat del controlador al inici d'aquest projecte:

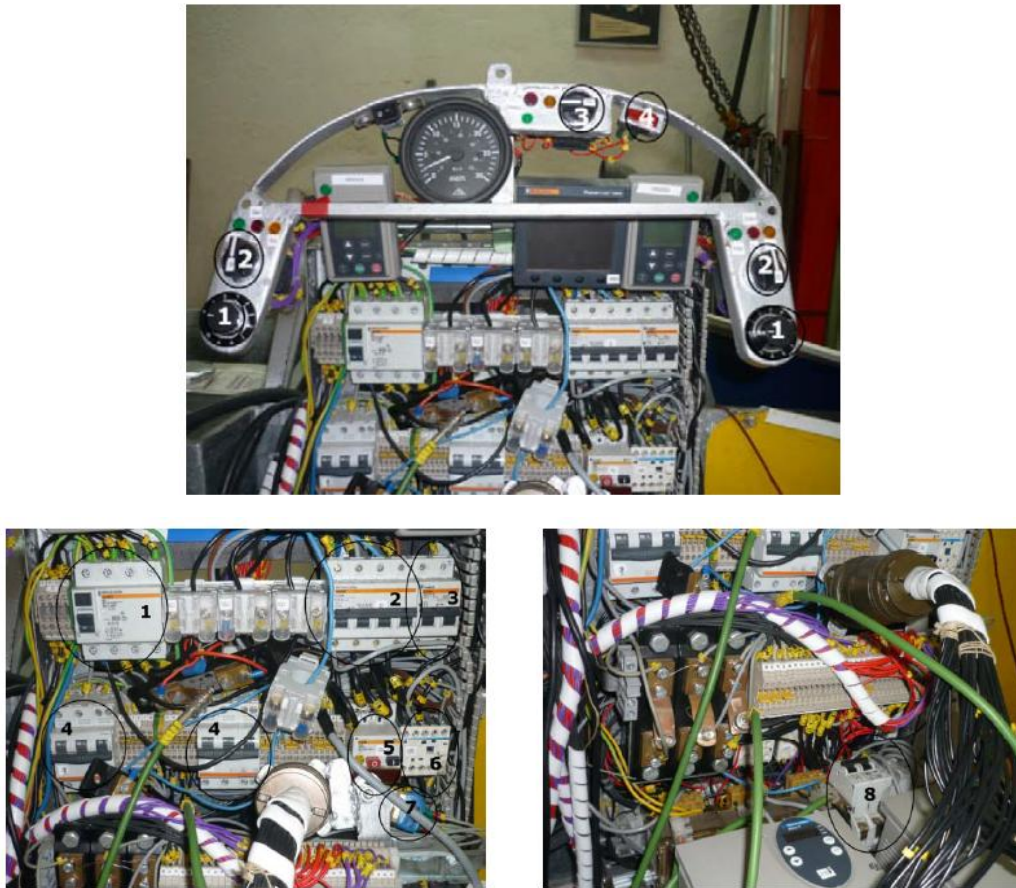


Figura 19. Estat inicial del controlador de Ras

Font: C. Bou Ref.PFC.02

6.1. Característiques del controlador.

Aquest controlador permet elegir el sentit de gir de cada una de les dos hèlix de forma independent. Això es pot fer a través de contactors o a través de variadors de freqüència. El quadre inclou les botoneres per triar el sistema de control i posteriorment triar el sentit de gir de cada motor.

El control per contactors consisteix en relés electromagnètics que connecten la potència als propulsors. Aquest sistema no permet una

regulació de la potència i per tant només té dos estats que suposen parada o màxima potència.

Els variadors de freqüència permeten, amb dos potenciòmetres de $10k\Omega$, regular la velocitat de gir de cada hèlix de forma independent.

Un motor de corrent altern síncron té una velocitat de rotació definida per la freqüència del corrent d'alimentació i el nombre de pols. Per tant si variem aquesta freqüència, variem la seva velocitat. Els variadors rectifiquen una senyal alterna convertint-la en contínua. Posteriorment a través d'uns interruptors (inversors) que s'obren i es tanquen a la velocitat que volem donen altre cop la senyal sinusoïdal a la freqüència desitjada. Aquest senyal sinusoïdal però tindrà forma rectangular i farà menys eficient pel motor.

El variador també provoca oscil·lacions de corrent molt altes (harmònics) que complica la regulació de tensió. Una solució podria ser un alternador sobredimensionat. Aquesta solució és compartida amb el sobredimensionat que ens interessa per tal d'absorbir els transitoris d'arrencada.

Aquests aparells permeten doncs un augment gradual de la potencia als motors evitant els grans pics de arrancada i també el control de la força que fan les pales.

A continuació es detallen les característiques dels variadors de freqüència.

Variadors *Telemecanique ATV31*

Entrada

Corrent de línia màx. amb 380V	8,9A
Icc de línia màx. estimada	5kA
Potència aparent	5,9kVA
Corrent de connexió màx.	10A

Sortida

Corrent nominal In	5,5A
Corrent transitòria màx.	8,3A
Potència dissipada en càrrega nominal	79W

Taula 12 Característiques dels variadors de freqüència.

Font: Miquel Vidal. Ref.PFC.03

En el quadre de control hi ha dos displays per a cada variador. Aquest displays serveixen per programar els variadors segons les característiques dels motors que volem controlar (corrent, voltatge, freqüència, rpm, etc). També ens permeten programar quin tipus de senyal d'ordre rebrà, en aquest cas un senyal analògic provinent dels potenciòmetres, i com ha de respondre a aquest senyal.

El controlador compte també amb una central de mesura de la marca POWER LOGIC model PM850. Permet observar valors a temps real dels consums elèctrics i gràcies a una petita memòria també permet guardar-les i emetre-les a un PC si està connectat.

6.2. Proves a INB del controlador

Al INB s'ha cablejat de nou tot el controlador sobre una plataforma de fusta de 1x0,5 m. Aquest és l'aspecte final:

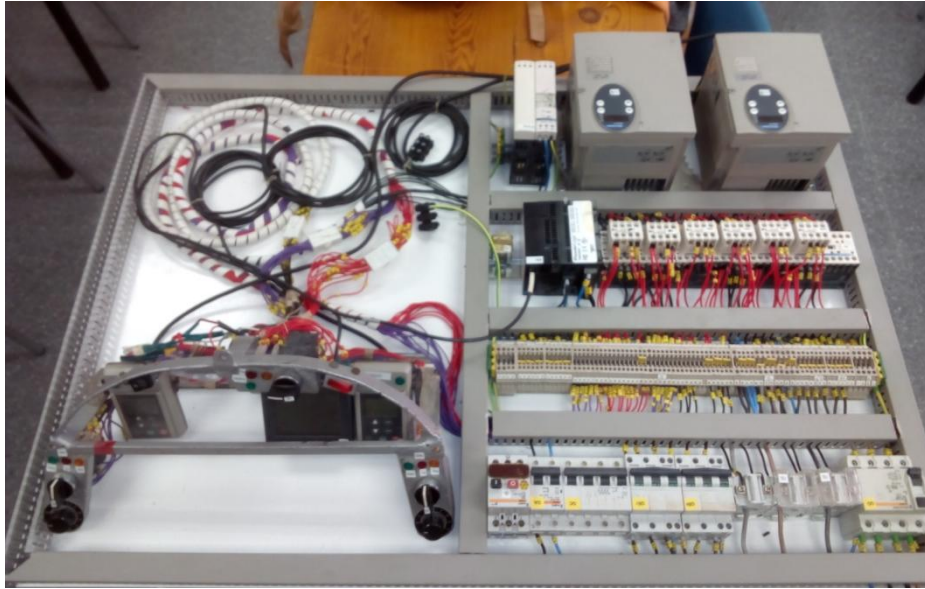


Figura 20. Quadre de control de Lady

La plataforma està separada en dos seccions. A una meitat es conserva la botonera original de la RAS. S'ha mantingut per tal de fer les proves prèvies. En un futur s'adaptarà als mobles que es faran a Lady.

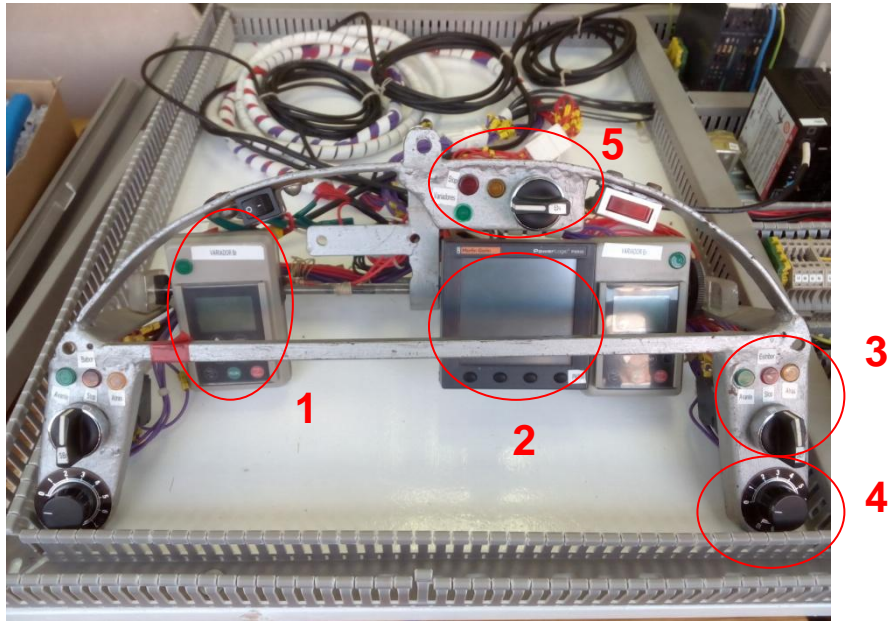


Figura 21. Comandament del controlador.

Referències de la figura 21:

- 1- Displays dels variadors de freqüència.
- 2- Pantalla de lectura PM850
- 3- Botonera de marxa avant, parada i marxa enrere del motor de estribord.
- 4- Potenciòmetre del variador de estribord.
- 5- Selector de mode de control (contactors – desconnectat – variadors).

Finalment queden dos interruptors no definits. El negre correspon a la alimentació de la corredera que encara no s'ha instal·lat. El vermell connectava el compensador síncron, descartat en aquest projecte.

A l'altra part tenim el cablejat nou.

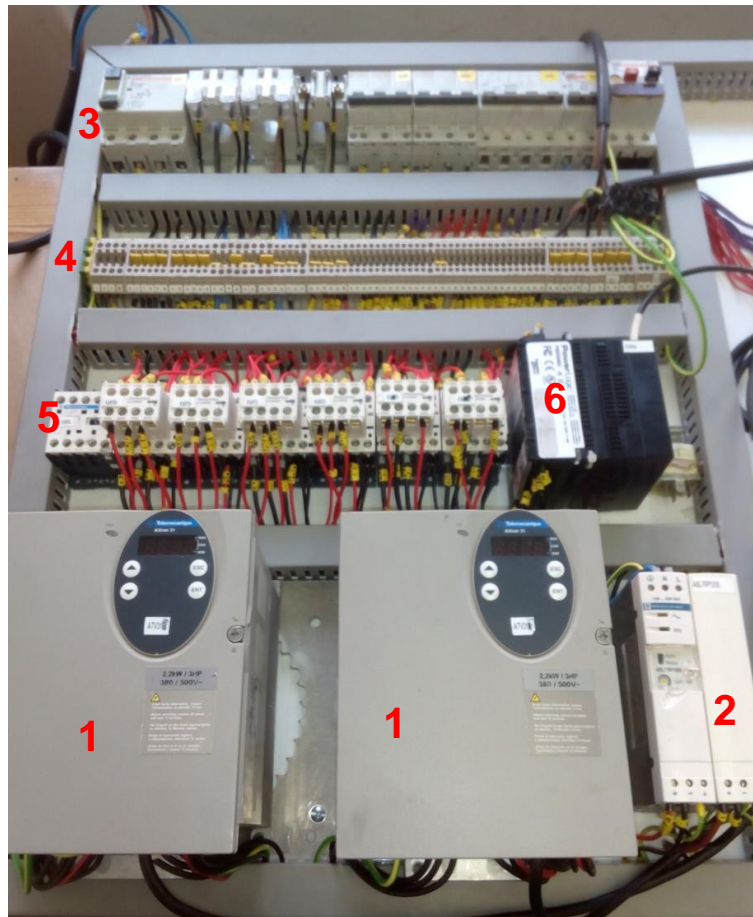


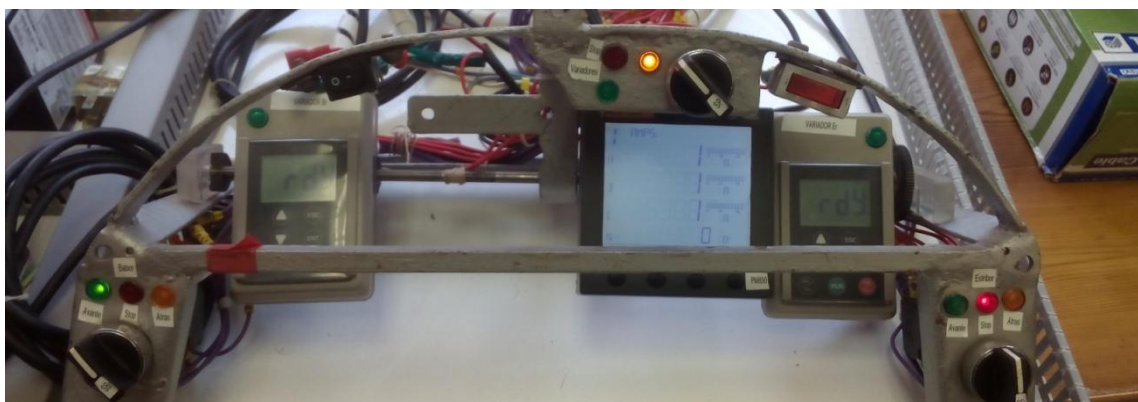
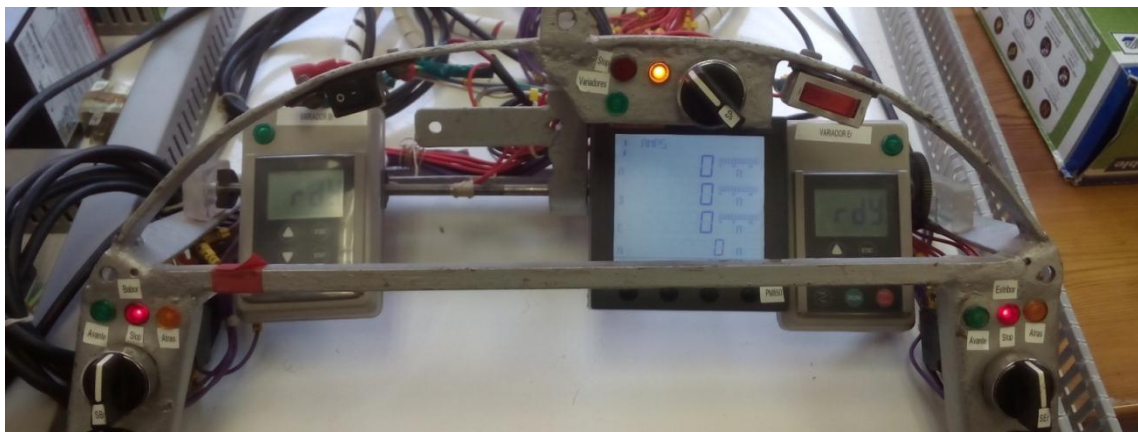
Figura 22. Cablejat del controlador.

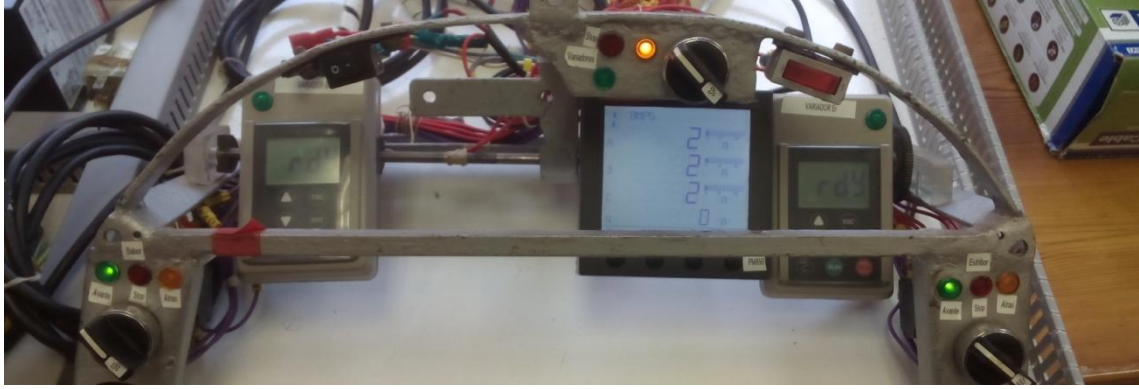
Referències de la figura 22:

- 1- Variadors de freqüència
- 2- Convertidor AC a DC
- 3- Regleta amb magnetotèrmics més transformador de mesura.
- 4- Regleta amb terminals
- 5- Regleta de contactors
- 6- Centraleta del PM850

Hi ha un magnetotèrmic general, un per cada variador i un altre pel convertidor de continua. D'aquest control entra alimentació trifàsica i surt la alimentació per dos motors trifàsics amb pressa de terra.

Es realitzen proves amb dos motors trifàsics de 0,5kW i es comprova el bon funcionament del sistema tan per contactors com per variador de freqüència. També es comprova el funcionament de la central de mesura PM850 i s'obtenen les següents dades (funcionament per contactors).





Figures 23, 24 i 25. Consums del motors

En la primera imatge veiem els dos contactors de marxa parats, per tant un consum de 0A en cada fase. A la segona imatge engegarem el motor de bavor i passem a tenir un consum de 1A en cada fase. Finalment engegant el segon motor veiem un consum de 2A.

Aquesta centraleta també ens permet la lectura de voltatge, consums, harmònics, i freqüència entre d'altres.

7. Obres a Lady

En el moment que es comença aquest projecte, els rails de fusta per a col·locar l'antiga cadena energètica ja estaven instal·lats. Tot i el canvi de la cadena, pel nou generador HYUNDAI, es farà servir la mateixa estratègia amb uns rails metàl·lics clavats a la fusta. D'aquesta manera garantim una gran facilitat de la instal·lació i fàcil intercanviabilitat de maquinària. Així s'ofereix en un futur la possibilitat de col·locar el generador en diferents posicions al llarg dels rails per tal d'equilibrar pesos i la possibilitat d'afegir més o altre maquinaria.



Figura 26. Instal·lació de la bancada.

Font: Mario Sancho Ref.PFC.06

La nova estructura disposa d'una base quadrada d'acer on es col·locarà el generador. Aquesta base pot lliscar pels carrils per tal de poder col·locar el generador en diferents posicions. La base

també conté un sistema de fixació al rail metàl·lic. Aquest sistema és desmuntable manualment i garanteix que el generador resti immòbil un cop s'hagi fixat a la posició desitjada.



Figura 27. Sistema de fixació de la base d'acer pel generador.



Figura 28. Sistema de rails pel generador.

Al final d'aquest projecte la instal·lació de la estructura queda inacabada. S'han instal·lat els rails metàl·lics i també s'han instal·lat els passa cables. Pel que fa al mobiliari s'ha començat a fer els primers dissenys de fusta però han quedat inacabats en aquest projecte.

7.1. Distribució de pesos

La limitació del pes que podem posar a Lady és de 712kg aproximadament. Per tant és important tenir en compte el pes dels elements de la cadena energètica que anem afegint. En la següent taula hi ha un resum dels pesos afegits en el projecte present.

Pesos afegits	
Generador HYUNDAI	167 Kg
Propulsors (x2)	28 Kg
Controlador	20 Kg
TOTAL:	215 Kg

Taula 13. Pesos afegits en aquest projecte

8. Conclusions

8.1. Nova cadena energètica

S'ha vist la importància de sobredimensionar l'alternador per tal d'afrontar els pics de demanda transitoris provocats bàsicament per les acceleracions. Quan el motor arranca l'alternador ha de cobrir la gran demanda de potència reactiva.

En el nostre cas tenim el generador de 10CV i l'alternador ens entrega 6,3kVA a I_N 11A. Els dos propulsors en condicions nominals ens consumeixen 7,2 kVA i 11A. Al arrancar els dos de cop tenim 30,2 kVA i 46A de consum.

Veient aquests números es veu clarament que aquest generador no es suficient per subministrar els dos propulsors alhora i per tant, en un futur, caldrà pensar en afegir un altre.

L'alternador que hi ha en aquest generador es estàndard per grups electrògens i no està sobredimensionat per cobrir pics com els que ens genera l'arrencada d'un sol propulsor de 23A. Això no vol dir que no es pugui arrancar un propulsor com s'ha demostrat en el projecte de Sergi Berberan (REF.PFC.07) on s'arrenca un motor de 18kW amb una dinamo de 9kW en 60ms.

El que passarà en aquest cas és que per tal de donar la intensitat d'arrencada als propulsors la tensió de l'alternador caurà en picat, fins i tot acostant-se als 0V. L'arrencada dels propulsors amb aquest generador serà més lenta a causa d'aquesta caiguda de tensió.

Per aquest motiu totes les altres càrregues de Lady estan pensades que funcionin alimentades per bateries. Aquestes càrregues no poden ser afectades per caigudes de tensió tan grans ja que pot

provocar averies en la electrònica . Inclús es podrien donar situacions de risc si no es cobreixen les càrregues crítiques de seguretat.

D'aquí la necessitat de posar un alternador sobredimensionat que permeti cobrir aquest pics de intensitat sense tenir una caiguda de tensió com aquesta. Pel que fa al tèrmic, no ha de cobrir transitoris i per tan no cal que estigui sobredimensionat. Així es contribueix en un estalvi energètic. Lo ideal és que la potència del tèrmic sigui la suficient per alimentar en règim permanent i l'alternador sobredimensionat absorbeixi els transitoris.

L'arrencada es fa en dècimes de segon i per tant l'alternador ha de poder aguantar aquesta intensitat de 23A encara que el seu nominal sigui 11A. Els alternadors han de aguantar com a mínim 1 segon en règim de curt circuit per normativa.

En aquest projecte s'han fet proves dels propulsors connectats a la xarxa ja que Lady encara no està preparada per navegar. Queda doncs per futurs projectes l'estudi de l'acoblament dels propulsors amb el grup electrogen diesel.

8.2. Propulsors

Els propulsors antics de la Ras han estat provats al RCMB. S'ha demostrat que si treballen amb l'eix per sota dels 18cm del nivell d'aigua en repòs, els consums dels motors son per sobre dels nominals. Tot i així hem vist que si l'aigua que circula pel propulsor te una velocitat superior a 2 nusos podem assolir consums nominals inclús a més profunditat. L'estructura del mirall de popa permetrà fer futures proves sobre Lady variant la profunditat dels propulsors. Tot i així cal tenir en compte que a velocitats baixes els propulsors

consumeixen en excés i s'han de deixar refrigerar-los periòdicament. Una manera segura de començar a usar-los sobre Lady seria instal·lant-los com a hèlix de superfície. D'aquesta manera estem en consums per sota dels nominal.

8.3. Control

El quadre de control ha quedat operatiu. S'han fet les proves tant per variador de freqüència com per contactors de forma satisfactòria. Resta la instal·lació del quadre a Lady amb els mobles corresponents. Els variadors de freqüència ens donen la avantatge de arrancar els motors sense generar pics de corrents tan alts. Tanmateix es recomana l'ús del control per contactors un cop tenim règim estacionari ja que la senyal sinusoidal dels variadors venen rectangulars a causa dels inversors i per tant tenim menys rendiment als motors i més harmònics al generador.

9. Projectes futurs per a la Lady

9.1. Estabilització dinàmica de la Lady

Aquesta proposta és el disseny d'un sistema de estabilització quan Lady resta parada al mar per tal d'evitar el capcineig i el balanceig produït per les onades. La idea és instal·lar dos propulsors, un a babor i l'altre a estribord. S'instal·larien en vertical i s'engegaria quan es detectés que la llanxa s'inclina. D'aquesta manera aconseguiríem anivellar-la de nou. Els propulsor estudiats en aquest projecte podrien ser utilitzats amb aquesta finalitat. Al ser lleugers i robustos es podria pensar en una estructura al mirall de popa que permetés posar-los en horitzontal per la propulsió i inclinar-los quan no navegues per fer-los servir com a estabilitzadors.

Aquest sistema hauria de funcionar amb un giroscopi que detectés la inclinació i un controlador que donés l'ordre al propulsor de encendre o parar-se.

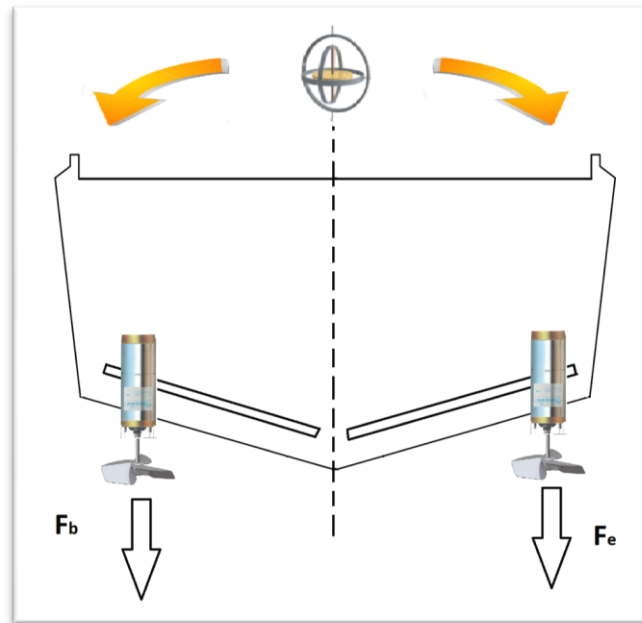


Figura 29. Esquema de estabilització dinàmica.

Pel disseny del controlador es podria basar-se en aquest diagrama de blocs que representa el sistema de control per la estabilització del balanceig.

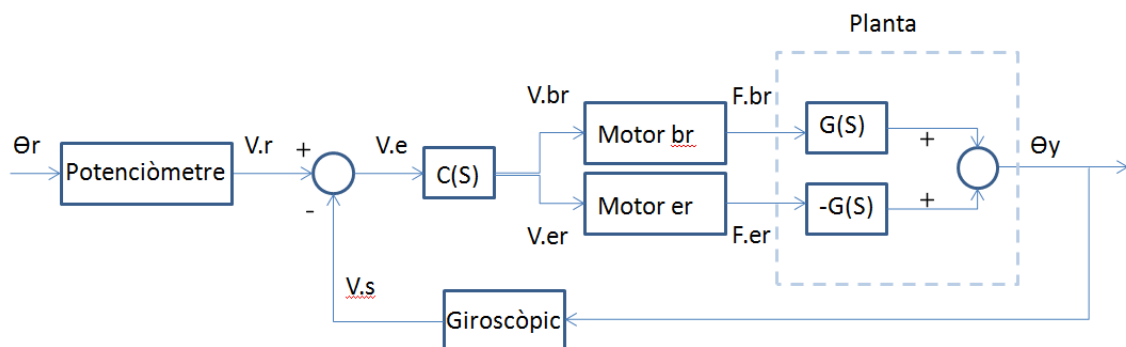


Figura 30. Diagrama de blocs del sistema de control.

Θ_r : Angle (°). Variable d'entrada (referència).

Θ_y : Angle (°). Variable de sortida.

V_r : Tensió (°). Variable d'entrada (referència).

Ve.: Tensió (V). Senyal error.

Vbr: Tensió (V). Tensió motor bavor.

Ver: Tensió (V). Tensió motor estribord.

Fbr: Força (N). Força motor estribord.

Fer: Força (N). Força motor estribord.

En aquest diagrama veiem que partim d'un valor de referència que en aquest cas seria 0° . A través d'un potenciòmetre transformariem aquesta ordre en un senyal analògic llegible pel controlador $C(s)$.

Per identificar i modelitzar la dinàmica d'escorament s'haurien de fer proves sobre Lady un cop fos sobre l'aigua i veure com reacciona amb l'accionament d'un propulsor.

El controlador hauria de comparar el valor de referència i el valor donat pel giroscòpic i donar les ordres necessàries per tal de que l'angle de sortida fos 0° .

9.2. Disseny i instal·lació de panells solars.

Com que l'alternador pot tenir grans caigudes de tensió degut a la arrancada dels propulsors cal pensar en una forma per alimentar els sistemes elèctrics. Aquesta podria ser un altre alternador més petit, però molts sistemes auxiliars poden funcionar amb corrent continua i ser alimentats per bateries.

Per tal de fer Lady el més autosuficient possible es poden pensar varies maneres de carregar aquestes bateries aprofitant el calor del

emès del generador o altres sistemes com podrien ser plaques solars.

En el projecte de la Mercè Barba (Ref.PFC.05) es proposa la instal·lació d'unes plaques elèctriques al capítol 6.2.1 del seu projecte. Al ETSEIB es disposa de panells fotovoltaics recuperats del “Despertaferro”, un cotxe solar dissenyat per estudiants de la UPC que va participar a la SunRace2000 a Austràlia.

Un cop finalitzada la instal·lació de la nova cadena energètica seria molt interessant instal·lar sistemes que puguin generar electricitat a partir d'energia renovable.

9.3. Sistema de bombolles per a la disminució del fregament

La idea d'aquest sistema és injectar bombolles d'aire sota el casc de Lady quan està navegant. L'objectiu és minimitzar el fregament de l'aigua amb el casc. El fregament amb l'aigua és la principal causa de resistència a l'avanç d'un vaixell. Per tant aquest sistema podria suposar una reducció del consum de Lady.

Un cop instal·lada la cadena energètica i Lady pogués navegar, es podrien fer les proves d'aquest sistema ja que podem fer la lectura dels consum elèctrics dels propulsors en tot moment.

10. Bibliografia

10.1. Referències PFC

Ref.PFC.01

Peregrina Velasco, A. (2009). *Acabados, optimización, ajuste y documentación de un catamarán de propulsión eléctrica de 3,4 metros de eslora*. Proyecto final de carrera. Barcelona: UPC.

Ref.PFC.02

Bou Orench, C. (2010). *Cap al vaixell híbrid de propulsió elèctrica. Avaluació experimental de la cadena energètica instal·lada a la barca RAS*. Projecte final de carrera. Barcelona: UPC.

Ref.PFC.03

Vidal Parreu, Miquel J. (2008). *Llanxa Ras: millores i anàlisi de la propulsió*. Projecte final de carrera. Barcelona: UPC.

Ref.PFC.04

Mas Bagant, P. (2010). *Caracterización hidrodinámica de propulsores eléctricos sumergidos en un tanque de tres metros de diámetro*. Projecte final de carrera. Barcelona: UPC.

Ref.PFC.05

Barba Ferrer, M. (2013). "*Projecte de legalització d'un laboratori surant de 6,5 m d'eslora per l'experimentació de propulsió naval elèctrica*". Projecte final de carrera. Barcelona: UPC.

Ref.PFC.06

Sancho Cortacero, M. (2011). "*Disseny, construcció i assaig d'un laboratori surant, sobre una embarcació de 6,5 m d'eslora. Per l'experimentació de propulsió naval elèctrica*". Projecte final de màster. Barcelona.

Ref.PFC.07

Barberan, S. (2015). "*Disseny i assaig d'un controlador de tensió per un grup electrogen híbrid, per alimentar un propulsor naval elèctric de 18kW en condicions d'acceleracions forçades*". Projecte final de carrera. Barcelona.

10.2. Referències llibres

Ref.LL.01

Claudio Mataix. *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas (segunda edición)*. Madrid 1986: Ediciones del castillo S.A.

Lluís Closas i Pau Closas. *Manteniment i reparació dels sistemes electrònics d'un vaixell*. NAUTICAL UNION editorial.

10.3. Referències pàgines web

- Web: Wikipedia. Búsqueda: Voltamperio
URL:(10/2017) <https://es.wikipedia.org/wiki/Voltiamperio>
- Web: Electricaaplicada
URL:(10/2017) <https://www.electricaaplicada.com/la-diferencia-kw-y-kva/>
- Web: YouTube: Funcionamiento del variador de velocidad.
Canal: "Senati canal Perú".
URL (03/2018): https://www.youtube.com/watch?v=_YRsyBggbVA
- Web: Wikipedia. Búsqueda: Variador de frecuencia.
URL(03/2018):
https://ca.wikipedia.org/wiki/Variador_de_freq%C3%BC%C3%A8ncia